



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURI ILMAKUNNAS

VAIHTOEHTOISET MATERIAALIT PUUVILLALLE KODINTEKSTII-  
LEISSÄ

Diplomityö

Tarkastajat: professori Jurkka  
Kuusipalo ja projektitutkija Arja  
Puolakka  
Tarkastajat ja aihe hyväksytty  
27. syyskuuta 2017

## TIIVISTELMÄ

**LAURI ILMAKUNNAS:** Vaihtoehtoiset materiaalit puuvillalle kodintekstiileissä

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 50 sivua

Marraskuu 2017

Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: TEVA-tuotantotekniikka

Tarkastaja: professori Jurkka Kuusipalo ja projektitutkija Arja Puolakka

**Avainsanat:** opinnäytetyö, puuvilla, kodintekstiilit

Tekstiiliteollisuuden ekologisuus on saanut enemmän näkyvyyttä viime vuosina. Kuluttajat ovat entistä kiinnostuneempia ja tietoisia tuotteiden ekologisuudesta ja vaativat sitä tuotteilta yhä enemmän. Puuvilla on käytetyin materiaali kodintekstiileissä, joten sen ekologisuus kiinnostaa kuluttajia paljon. Tämä asettaa uusia haasteita tekstiiliteollisuuden toimijoille.

Tämä diplomityö käsittelee vaihtoehtoisia materiaaleja puuvillalle kodintekstiilien näkökulmasta. Työn tavoitteena on tutkia puuvillan ominaisuuksia ja verrata niitä mahdollisiin korvaaviin materiaaleihin. Näistä materiaaleista on tehty johtopäätöksiä miltä kodintekstiilimateriaalien kenttä näyttää tulevaisuudessa.

Kodintekstiilit ovat laaja tuoteryhmä ja kodintekstiilien sisältä tutkittavaksi valikoituivat vuodevaatteet, pyyhkeet ja sisustuskankaat. Työssä esitellään sarja kuituja ja kuitujen ominaisuuksia, jotka ovat valikoituneet sopiviksi ja oleellisiksi työssä tutkittujen kodintekstiilien kannalta. Kuiduiksi valikoitui puuvillan lisäksi pellava, hamppu ja viskoosi. Teoriaosuus käsittelee kuitujen kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, mukavuutta sekä hintaa.

Kodintekstiileissä esiintyvien kuitujen tulevaisuutta tutkittiin kehitteillä olevien tekniikoiden ja materiaalien kautta. Kehitteillä olevat tekniikat jakautuvat puuvillan prosessien kehittämiseen ja uusien kuitumateriaalien kehitykseen. Erityisesti puuvillan kaltaisia ekologisia regeneroituja kuituja on useita kehitteillä. Tulevaisuuden aikajanaa peilattiin aiemmin kehitettyjen kuitujen käytön yleistymisen nopeuteen ja nykyisen teknologian kehityksen nopeuteen.

Työssä havaittiin puuvillan olevan toistaiseksi paras materiaali tutkitussa tuoteryhmässä kodintekstiileille. Tuotteiden ekologisuutta on mahdollista parantaa erilaisilla sekoitteilla ja kierrätysmateriaaleilla. Nämä kuitenkin nostavat tuotteen prosessoinnin hintaa selvästi korkeammaksi kuin puuvillan.

Regeneroidut kuidut ovat potentiaalisin vaihtoehto korvaamaan puuvillaa tulevaisuudessa. Viiden vuoden aikana osa kehitteillä olevista kuiduista saavuttavat pilotti- ja tuotantovaiheen. Prosessit ja tuotteet ovat aluksi kalliita ja materiaaleja käytetään korkeamman hintaluokan tuotteissa. Kymmenen vuoden sisällä useimmat kehitteillä olevat materiaalit ovat jo teollisessa tuotannossa ja osa niistä on saavuttanut matalamman hintaluokan tuotteet. Uudet materiaalit vähentävät tulevaisuudessa puuvillan osuutta kodintekstiileissä ja materiaalien kirjo on laajempi.

## ABSTRACT

**LAURI ILMAKUNNAS:** Alternative materials for cotton in home textiles

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 50 pages

November 2017

Master's Degree Programme in Materials Technology

Major: Textile and Clothing Production Technology

Examiner: professor Jurkka Kuusipalo and project researcher Arja Puolakka

Keywords: thesis, cotton, home textiles

The ecological aspects of textile industry have been gaining more attention in the recent years. Consumers are more interested and aware of ecology and require this also from the products they consume. Cotton being among the most used fabrics in clothing and home textiles the sustainability issues are focused on cotton.

This thesis is about the alternative materials for cotton in home textiles. The aim of the study is to compare properties of cotton fibers properties to the ones of other textile materials and make predictions of the future of the materials in home textiles.

Selected array of fiber and textile properties were chosen for the basis of this study. The chosen fibers in addition to cotton were linen, hemp and viscose rayon. The properties in theory section of the thesis included physical and chemical attributes, comfort and price. Theory section of the thesis consists of physical and chemical properties, comfort and price of the chosen fibers.

The future of home textiles fibers was analyzed through materials and technologies that are in development at the moment. The technologies and materials can be divided into two categories. These categories are cotton production process development and development of new fiber materials. Several of ecological regenerated fibers are in development at the moment. The future of the fibers was analyzed through the development speed of past fibers and the speed of modern development to industrial production speed.

Out of the current available fibers cotton was the best for home textiles for now. The ecological aspect of home textiles at the moment can be enhanced with the use of blended yarns and using recycled fiber materials. From the price aspect these ecological options are more expensive to produce compared to cotton.

In the future regenerated fibers are the most prominent material to be used instead of cotton. Five years from now some of the materials are developed into pilot and industrial production. In the beginning these materials are used in products of higher price range. Within ten years from now most of the materials are in industrial production. At this point some of the materials have reached lower price range of consumer products. In future the new materials decrease the usage of cotton in home textiles and the range of materials used in home textiles is wider.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni tuesta diplomityön tekemisessä ja opintojen suorittamisessa. En olisi valmistunut ilman heitä. Haluan myös kiittää ohjaajiani Jurkka Kuusipalo ja Arja Puolakkaa neuvoista ja ohjauksesta diplomityöni aikana.

Valgassa, 14.11.2017

Lauri Ilmakunnas

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tarkoitus.....	1
1.2	Tutkimuksen suorittaminen.....	1
1.3	Finlayson Oy .....	1
2	TEORIA TAUSTA .....	3
2.1	Tekstiilien mukavuus .....	3
2.2	Kuidun vedensitomiskyky.....	4
2.3	Tekstiilien kulutuksenkesto.....	7
2.4	Värjättävyys ja painettavuus .....	11
2.5	Valonkesto.....	18
2.5.1	Valonkesto ja mekaaniset ominaisuudet.....	18
2.5.2	Valon vaikutus värjäykseen ja viimeistykseen.....	18
2.6	Tuotteiden ekologisuus ja elinkaarianalyysi .....	19
3	KODINTEKSTIILIT .....	23
3.1	Kodintekstiilien vaatimukset.....	23
3.1.1	Vuodevaatteet.....	24
3.1.2	Pyyhkeet.....	24
3.1.3	Sisutuskankaat.....	25
3.1.4	Yhteenveto .....	25
4	KODINTEKSTIILIMATERIAALIT.....	27
4.1	Puuvilla.....	27
4.1.1	Puuvillan kuituominaisuudet.....	27
4.1.2	Puuvillan ympäristövaikutukset.....	28
4.1.3	Puuvillan hintakehitys .....	29
4.2	Kierrätetty puuvilla .....	31
4.3	Pellava .....	31
4.4	Hamppu .....	33
4.5	Viskoosi.....	33
4.6	Sekoitteet.....	34
5	KUITUMATERIAALIEN KEHITYS JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT .....	36
5.1	Kehitteillä olevat materiaalit ja prosessit .....	36
6	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	39
6.1	Kodintekstiilimateriaalit viiden vuoden kuluttua.....	42
6.2	Kodintekstiilimateriaalit kymmenen vuoden kuluttua .....	43
7	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET.....	46

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

$C_k$	lämmön johtuminen
$C_v$	konvektio
$E_{res}$	hikoilun aiheuttama lämpöhäviö
<i>et al.</i>	ja muut
G	giga
GWP	global warming potential
J	joule
$M$	sisäenergia
mol	mooli
N	newton
Pa	pascal
$R$	lämpösäteily
UV-valo	ultraviolettivalo
$W$	työstä syntyvä lämpö

# 1 JOHDANTO

Puuvilla on ollut pitkään yksi käytetyimpiä kuituja kodintekstiileissä. Kuluttajien tietoisuus puuvillan ekologisista ongelmista on lisääntynyt viime vuosina. Tämä on alkanut ohjaamaan kuluttajien käyttäytymistä kohti ekologisia tuotteita. (Brosdahl & Carpenter 2010) Tämä asettaa uusia haasteita tekstiiliteollisuuden toimijoille. Kuluttajat arvottavat ekologisuuden tietylle tasolle tuotteessa ja ovat valmiita maksamaan siitä lisähintaa. Tulevaisuudessa kodintekstiilien materiaalit ovat muutosten edessä kuluttajien asenteiden ja vaatimusten johdosta.

## 1.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miten olemassa olevat ja kehitteillä olevat materiaalit soveltuisivat puuvillan korvaajaksi kodintekstiileissä. Tutkimuksessa pyritään selvittämään puuvillan ominaisuuksia, jotka ovat syynä puuvillan käyttöön kodintekstiileissä. Näihin ominaisuuksiin ja arvoihin perehtymällä selvitetään vaihtoehtoisten materiaalien soveltuvuutta kodintekstiileihin. Toinen osa tutkimusta on tehdä katsauksia kodintekstiilimateriaalien tulevaisuuteen sekä miten ja milloin kehitteillä olevat materiaalit ja prosessit ovat suuren kokoluokan tuotannon saavutettavissa kustannukset huomioon ottaen.

## 1.2 Tutkimuksen suorittaminen

Finlayson Oy:n toiveesta tutkimus suoritetaan selvittämällä puuvillaa korvaavien potentiaalisten kuitumateriaalien ominaisuuksia ja tutkimaan kehitteillä olevia materiaaleja puuvillan korvaamiseksi vertailemalla näiden ominaisuuksia puuvillan ominaisuuksiin ja kodintekstiilituotteiden asettamiin vaatimuksiin. Uusien materiaalien kehitystä ja tuotannon saavuttamista arvioidaan vertaamalla aikaisempien kuitumateriaalien kehitystä kehitysvaiheesta tuotantoon.

Tutkimus koostuu kirjallisuuskatsauksesta kuitumateriaaleihin ja tulevaisuuden tutkimisesta luomalla arvioita mahdollisista tulevaisuuden kodintekstiilimateriaaleista. Arviot asetetaan viiden ja kymmenen vuoden päähän.

## 1.3 Finlayson Oy

Finlayson Oy on vuonna 1820 perustettu suomalainen kodintekstiileihin keskittynyt yritys (Finlayson Oy: Tarinamme 2017). Oleellinen osa Finlayson Oy:n toimintaa on tarjota

asiakkaille laadukkaita tuotteita ottaen huomioon modernin tekstiiliteollisuuden vaatimukset. Tämä voidaan nähdä Finlaysonin asettamista vastuullisuuden ja tulevaisuuden tavoitteista. Vastuullisuus on oleellinen osa Finlayson Oy:n strategiaa ja Finlayson pyrkii toiminnassaan toimitusketjun läpinäkyvyyteen, olemaan yhteiskunnallisesti valveutunut, lisäämään kiertotaloutta ja näin vähentämään tekstiilijätteen määrää (Finlayson Oy: Vastuullisuus 2017). Finlayson Oy on asettanut tavoitteikseen kasvattaa ekologisten materiaalien osuuden 30 % vuoteen 2020 mennessä. Samaan tavoitteeseen kuuluu myös CO<sub>2</sub> päästöjen pienentäminen 20:lla %:lla. (Finlayson Oy: Tavoitteet 2017)



## 2 TEORIA TAUSTA

Kodintekstiileillä on useita käyttökohteita ja niiltä vaaditut ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Tekstiilikuidun soveltuvuus käyttökohteeseensa määräytyy hyvin monen osa-alueen kautta. Kuitujen tulee kestää niille suunniteltua käyttöä, mutta tekstiilejä tulee voida myös prosessoida asiakasta miellyttävällä tavalla. (Labarathe 1964) Teoriat ovat valikointuneet tutkimuksen kannalta oleellisimmista kodintekstiilikuitumateriaalien ominaisuuksista. Tässä kappaleessa esittelen näiden ominaisuuksien teoriataustoja.

### 2.1 Tekstiilien mukavuus

Mukavuus on erittäin oleellinen osa ihmisen perustarpeita. Mukavuutta on hyvin vaikea määritellä tai kuvailla. Songin mukaan mukavuus voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: fysiologiseen, psyykkiseen ja fysikaaliseen mukavuuteen. Fysiologia liittyy ihmisen kykyyn ylläpitää elintoimintoja ja fysiologinen mukavuus on alue, jossa ihminen kykenee pitämään elintoimintonsa käynnissä ilman suuria ponnisteluja. Psyykkinen mukavuus kuvastaa tilaa, jossa ihmisen henkinen tasapaino säilyy ilman ulkoista apua. Fysikaalinen mukavuus kuvaa ympäristön fyysisiä vaikutuksia kehoon. Mukavuuden tunne täyttyy, kun ihmisen ja ympäristön väliset fysiologiset, psyykkiset ja fysikaaliset vaikutukset ovat tasolla, joka ei häiritse ihmistä. (Song 2011, Stylios 1991)

Song määrittää fysiologisen mukavuuden termiseksi tasapainoksi, jossa kehon lämpötila pysyy normaalina ilman, että kehon tarvitsee toimia mitenkään lämpötilaa laskeakseen tai nostaakseen. Tällöin keho tuottaa ja vastaanottaa yhtä paljon lämpöä. Kehon lämpötasapainoon vaikuttavat seuraavat seikat: lämmön johtuminen, lämpösäteily, konvektio ja hikoilu. Hikoilu on näistä ainut mihin keho pystyy itsenäisesti suoraan vaikuttamaan. Termisen tasapainon tuotteiden laskemiseksi voidaan käyttää lämpötasapainoyhtälöä. Lämpötasapainoyhtälössä lasketaan tuotetun ja hävinneen lämmön suhde. Kaavassa (1) esitetään lämpötasapainoyhtälö.

$$M - W = C_v + C_k + R + E_{res} \quad (1)$$

Kehon tuottamasta sisäisestä energiasta  $M$  vähennetään  $W$  ulkoisesta työstä johtuva lämpö. Näiden erotusta verrataan konvektiosta  $C_v$ , lämmön johtumisesta  $C_k$ , lämpösäteilystä  $R$  ja hikoilun aiheuttamasta lämmön häviöstä  $E_{res}$  laskettuun summaan. Lämmön tuotannon ollessa suurempi verrattuna häviöön keho pyrkii lisäämään hikoilua, jotta termisen tasapaino saavutettaisiin. Kehon tasapainoilee lämmön kanssa ja säätelee hikoilua normaalien elintoimintojen ja mukavuuden ylläpitämiseksi. (Song 2011)

Mukavuuteen vaikuttavat fysikaaliset ominaisuudet ovat erilaisia kankaan ja ympäristön aiheuttamia ärsykyksiä. Näitä ärsykyksiä ovat esimerkiksi tuntu, hengittävyys, vedensitomiskyky, laskeutuvuus, ympäröivä lämpötila ja kosteus. Nämä ulkoiset ärsykkeet vaikuttavat ihmisen mukavuuden tunteeseen ja määrittävät materiaalin soveltuvuuden käyttökohteeseensa. Valmiin kankaan pinnalla on myös suuri merkitys mukavuuden tunteeseen. Erilaiset materiaalit tuntuvat hyvin erilaisilta ja kankaan rakenteilla on suuri vaikutus lopulliseen tuntuun. Useimmat fysikaaliset ominaisuudet ovat mitattavissa, mutta niiden mukavuustason arvot ovat yksilöllisiä. (Song 2011)

Psykologinen mukavuus on ominaisuus, joka ei johdu tuotteen fysikaalisista ominaisuuksista vaan tuotteen aineettomista ominaisuuksista, jotka tuottavat käyttäjälle positiivisia mielleyhtymiä sekä mukavuuden tunteen. Song mainitsee psykologiseen mukavuuteen vaikuttavan myös kuluttajan asenteet, uskomukset ja erilaiset sosiaaliset seikat, jotka tuotteen tunteeseen liitetään. Nämä psykologiset ominaisuudet voivat vaikuttaa jopa enemmän tuotteen ostopäätökseen kuin varsinaiset tuotteen fyysiset ominaisuudet, jotka määrittävät kankaan soveltuvuuden käyttökohteeseensa. (Song 2011)

Stylios määrittelee kolme oleellista kuidunominaisuutta, jotka vaikuttavat kankaan mukavuuteen. Nämä ovat kuidun tyyppi, pituus ja hienous. Kuidun tyyppi määrittelee lopullisen kankaan ominaisuuksista suuren osan esimerkiksi kuidun vedensitomiskyvyn. Kuidun pituus vaikuttaa kankaan tasalaatuisuuteen ja kestävyys, jotka lisäävät tuotteen henkistä ja psykologista mukavuutta. Kuidun hienous vaikuttaa kuidun pehmeyteen ja laskeutuvuuteen. Hienommilla kuiduilla nämä ominaisuudet ovat paremmat verrattuna karkeampiin kuituihin. (Stylios 1991)

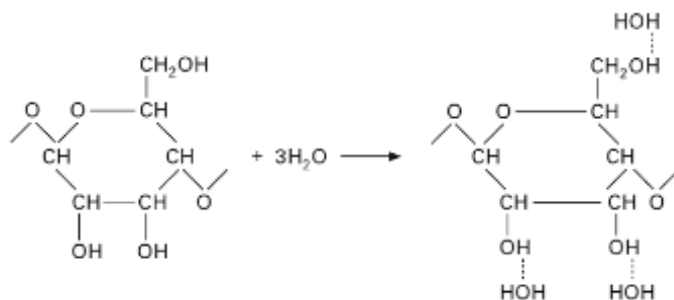
Kankaan mukavuus on monitahoinen kokonaisuus. Mukavuus käsittää monia yleisiä ominaisuuksia, jotka koskettavat kaikkia kuluttajia. Tekstiilituotteiden mukavuudessa on myös toinen puoli: kuluttajan henkilökohtaisesti asettamat vaatimukset tuotteelle ja kankaalle. Esimerkiksi lämpö ja esteettiset ominaisuudet ovat kuluttajan itse asettamia. Ihmisen lämmönsieto on hyvin yksilöllistä ja niin myös esteettiset mieltymykset ovat täysin yksilöllisiä ja osittain hyvin subjektiivisia.

## 2.2 Kuidun vedensitomiskyky

Kuitujen kyky imeä vettä itseensä on monimutkainen prosessi, jossa yhdistyy useita eri teorioita. Eri kuitutyypit sitovat vettä itseensä eri tavoin. Tässä luvussa esittelen pääpiirteittäin näitä teorioita.

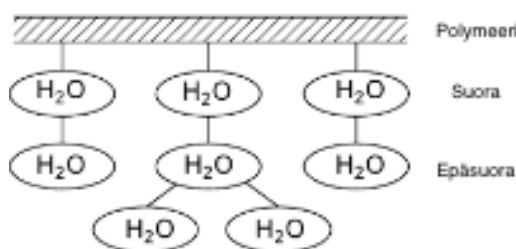
Molekyyllitasolla vesimolekyylit kiinnittyvät kuiduissa oleviin molekyyleihin. Näitä kuiduissa esiintyviä alueita joihin veden on mahdollista tarttua, kutsutaan hydrofiiliseksi ryhmiksi. Vesi kiinnittyy aluksi kuiduissa oleviin hydrofiilisiin ryhmiin. Tätä kutsutaan suoraksi kiinnittymiseksi. Hydrofiilisiä ryhmiä esiintyy lähinnä luonnonkuiduissa. Syneteettisissä kuiduissa hydrofiilisiä ryhmiä esiintyy hyvin vähän, jos lainkaan. Tästä johtuu

synteettisten kuitujen matala vedensitomiskyky. Kuvassa 1. vesimolekyylit kiinnittyvät selluloosamolekyylin vapaisiin hydrofiilisiin ryhmiin.



**Kuva 1.** Vesimolekyylit kiinnittyvät selluloosan hydrofiilisiin ryhmiin. (Morton & Hearle 2008)

Kun ensimmäiset hydrofiiliset ryhmät on täytetty, vesi voi joko tarttua vapaisiin hydrofiilisiin ryhmiin, tai liittyä uudeksi vesimolekyylikerrokseksi toisiin hydrofiilisiin ryhmiin tarttuneisiin vesimolekyyliin. Kuvassa 2. polymeerin pintaan on kiinnittynyt suorasti vesimolekyyliä ja näihin vesimolekyyliin on kiinnittynyt uusia epäsuorasti kiinni olevia vesimolekyyliä.



**Kuva 2.** Suorasti ja epäsuorasti kiinnittyneet vesimolekyylit. (Morton & Hearle 2008)

Epäsuorasti kiinnittyneet vesimolekyylit eivät ole yhtä vahvasti kiinnittyneitä verrattuna suoraan polymeeriin kiinnittyneisiin molekyyleihin. (Morton & Hearle 2008, Sinclair 2014)

Kuitujen vedensitomiskykyyn vaikuttaa myös kuidun rakenne. Kuidut, joissa on paljon kiteisiä alueita eivät kykene absorboimaan vettä yhtä hyvin kuin kuidut, joissa on enemmän amorfisia osia. Kiteiset osat ovat tiukasti pakkautuneita ja ristosilloittuneita. Vesimolekyylien on lähinnä mahdollista kiinnittyä vain kiteisten alueiden pinnoilla oleviin hydrofiilisiin ryhmiin. Amorfisissa alueissa vesimolekyylit pääsevät alueiden väliin ja sisällä, jolloin kiinnityskohtia on useampia. Amorfisten ja kiteisten alueiden määrä vaihtelee kuitukohtaisesti. Esimerkiksi selluloosa I, josta puuvilla koostuu, ja selluloosa II, josta viskoosi koostuu. Nämä selluloosamolekyylit eroavat vain hieman rakenteeltaan, mutta tuottavat amorfisilta ja kiteisiltä alueiltaan erilaisia kuituja. Tämä on nähtävissä selluloosa I ja selluloosa II erilaisista röntgendiffraktioista. Selluloosa I röntgendiffraktiossa ei ta-

pahdu muutoksia kuidun kastuessa. Selluloosa II diffraktio taas muuttuu kuidun kastuessa. Tästä johtuen voidaan olettaa, että vesi sitoutuu selluloosa II kristallisiin alueisiin. Kiteisten ja amorfisten alueiden suhde vaihtelee kuiduittain. Morton ja Hearle esittävät puuvillan, joka edustaa selluloosa I:stä, sisältävän noin 60% kiteisiä alueita. Viskoosissa, joka on regeneroitua selluloosaa, kiteisten alueiden osuudeksi esitetään 25%. Horton ja Mearle kuitenkin mainitsevat muussa kirjallisuudessa kiteisten alueiden osuuksien vaihtelevan lähteestä riippuen. (Morton & Hearle 2008)

Selluloosakuiduissa amorfisilla alueilla kulkevien ketjujen on mahdollista ristosilloittua kuivuessaan. Nämä ristosilloittuneet kohdat estävät kuidun mittamuutoksia ja vähentävät vapaiden hydroksyyliyhmiä määrää. Nämä molemmat vaikuttavat kuidun vedensitomiskykyyn. Kosteuden lisääntyessä kuiduissa olevat ristosillat hajoavat ja vapaita hydroksyyliyhmiä vapautuu lisää. Tätä rakenteen ominaisuutta, jossa se pyrkii vastustamaan muutosta, kutsutaan hystereesiksi. Kuiva rakenne, jossa on paljon ristosilloittuneita ketjuja, vastustaa kosteuden pääsyä hydroksyyliyhmiin. Märkä rakenne, jossa vesi on kiinnittynyt auenneisiin ristosilloittuneisiin kohtiin, pyrkii pitämään veden itsessään ja vastustaa uudelleen ristosilloittumista ja kuivumista. Vedensitomiskykyyn siis vaikuttaa materiaalin märkyys ja ympäröivä ilmankosteus. (Morton & Hearle 2008)

Kuidun osittainen turpoaminen mahdollistaa myös vedensitomisen. Selluloosan ollessa kosketuksissa veden kanssa amorfisilla alueilla tapahtuu ketjujen liukenemista ja liikkumista toistensa suhteen. Ketjut eivät kuitenkaan katkea vaan levittäytyvät laajemmalle alueelle. Tämä ketjujen liukeneminen aiheuttaa kuidussa osittaista turpoamista. Turpoaminen tapahtuu käytännössä amorfisten alueiden ketjujen leviämisellä kauemmaksi toisistaan luoden tilaa vesimolekyyleille kuidussa. Selluloosan täydellisen hajoa estävät kuitujen kiteiset alueet. Kiteiset alueet pitävät kuidut tiukasti koossa amorfisten alueiden liukenemisesta huolimatta. (Morton & Hearle 2008)

Hydrofobiset kuidut pystyvät myös sitomaan vettä itseensä kapillaari-ilmiöllä, jolloin kuidun pinnassa olevat raot täyttyvät vedellä. Tämä on myös huomattavissa kankaissa, jolloin kankaan rakenne mahdollistaa veden sitomisen lankojen väliin. Kapillaarisesti sidotun veden määrä on kuitenkin huomattavasti vähäisempää verrattuna kuidun rakenteisiin imeytyneeseen veden määrään. Lopulliseen määrään vaikuttaa vallitseva ilmankosteus, joka kasvaessaan lisää kuitujen pinnalle sitoutuvan veden määrää. (Kaswell 1953, Morton & Hearle 2008)

Kuidun vedensitomiskyky voidaan määritellä kosteuden absorptiotestillä. Testissä verrataan 65% ilmankosteudessa olutta näytettä uunissa täysin kuivattuun näytteeseen. Tästä pystytään laskemaan kuidusta vapautuneen nesteen määrä ja arvioimaan kuidun vedensitomiskykyä. (Saville 1999)

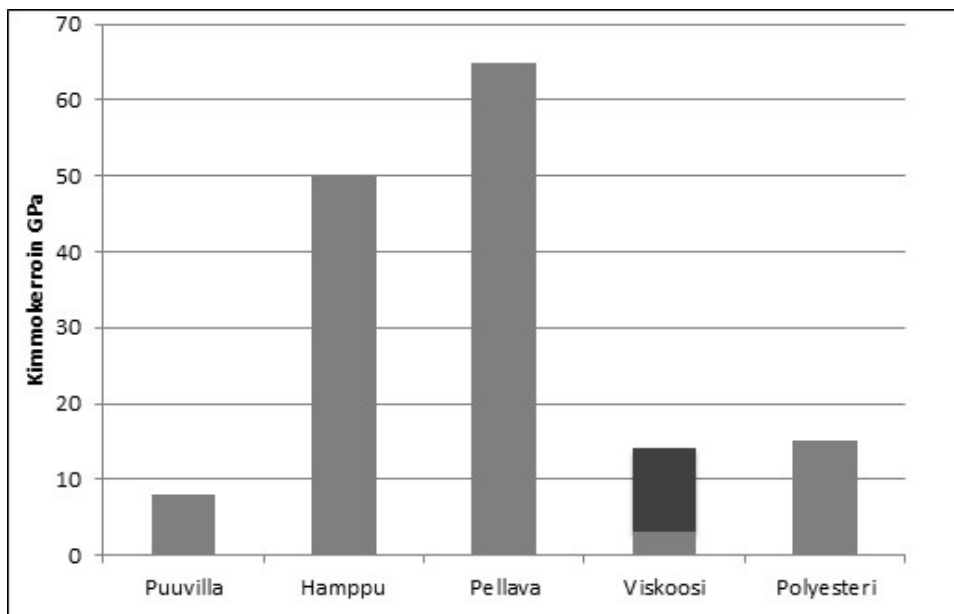
Vedensitomiskyky on tärkeä osa materiaalin valintaa tekstiilituotteissa. Se vaikuttavat materiaalin värjättävyyteen ja viimeisteltävyyteen, useilla kuiduilla mekaanisiin ominaisuuksiin ja osassa tekstiilituotteita se on oleellinen osa tuotteen ominaisuuksia. Kuitujen ja kankaiden vedensitomiskykyyn vaikuttavat useat eri ominaisuudet, mutta keskeisin ominaisuus, joka vaikuttaa kuidun lopulliseen vedensitomiskykyyn, on sen rakenne. Eri kuitumateriaaleissa esiintyvät rakenteet ja niiden suhteelliset osuudet toimivat pohjana tuotteen lopulliselle vedensitomiskyvylle. Tämä on havaittavissa myös langoissa, jotka sisältävät useampaa kuitumateriaalia. Hydrofobisen kuitumateriaalin lisääminen lankaan heikentää langan vedensitomiskykyä ja näin tuotteen vedensitomiskykyä. Sekoitelangoilla pyritään vaikuttamaan lopullisen kankaan ominaisuuksiin tai parantamaan yhden kuidun heikkouksia toisella kuidulla. (Morton & Hearle 2008)

### 2.3 Tekstiilien kulutuksenkesto

Kodintekstiileiltä odotetaan pitkäikäisyyttä, joten laadukas tuote myös kestää kulutusta. Laatu kuvaa tuotteen tarjoamia ominaisuuksia verrattuna asiakkaan odotuksiin. Tuotteen kestävyys on siis oleellinen osa asiakkaan laatukriteereistä kodintekstiileissä. Toinen ominaisuus, joka nousee esiin kulutuksenkeston yhteydessä, on sen suuri vaikutus tuotteen kierrätettävyyteen. Kestävän ja ehjän tekstiilin kierrätys ja uusiokäyttö on huomattavasti tehokkaampaa verrattuna tekstiilijätteen kierrätysmahdollisuuksiin. (Ashby 2013, Iyer 2009, Muthu 2015, Nielson 2007)

Materiaalien rakenteella on suuri vaikutus tekstiilien ominaisuuksiin ja käyttökohteisiin. Tekstiilit altistuvat elinkaarensa aikana yleisesti jatkuvalla ja vaihtelevalla kulutukselle yksittäisen suuren kuormituksen sijaan. Tekstiileiden ominaisuuksiin vaikuttaa kankaan rakenne sekä kankaassa käytettyjen kuitujen ominaisuudet että lankojen geometria. Juuri nämä monimutkaiset rakenteet kankaissa tekevät kulutuksenkeston arvioinnista ja mittaamisesta erittäin monimutkaisen prosessin. Erilaisten rakenteiden käyttö muuttaa kankaan ominaisuuksia erittäin paljon. Kankaan kulumisen alkaa ensin kuitujen kulumisena, joka kuidun materiaalista riippuen, on fibrilloitumista. Tällöin kuidusta halkeilee irti pieniä kuidun osia tai kuitu halkeilee pituussuunnassa. Kulumisen jatkuessa fibrilloituminen ja halkeilu vaikuttavat kankaan lankojen kestävyys ja kulumisen alkaa näkyä myös silmämääräisesti kankaan pinnalla. Kankaan kulutuksen kesto pystytään jakamaan kolmeen pääasialliseen kulumistyyppiin. Nämä tyypit ovat: hankaus-, venymä- ja reunakulumista. Hankauskulumisen kuvaa kankaan ja toisen pinnan välisestä kitkasta johtuvaa kulumista. Hankauskulumisessa kuidut ovat kontaktissa toisiinsa tai toiseen pintaan, joka aiheuttaa vahinkoa kuitujen pinnassa. Venymäkulumisen johtuu kankaan tai kuidun dimensioiden muutoksesta ja kankaan tai kuidun kyvystä palautua alkuperäisiin mittoihin. Reunakulumista tapahtuu kankaan taitteissa, saumoissa ja reunoissa, joissa kuidut ovat jatkuvasti rasituksen alaisia. Näihin kolmen kulutustyyppin kestävyys vaikuttavat eniten kuidun jäykkyys, venymä ja murtolujuus. (Annis 2012, Sinclair 2014)

Oleellinen kulutuksen keston ja kankaan ominaisuuksia määrittelevä kuidun ominaisuus on kuidun jäykkyys. Jäykkyys vastustaa kuitua taipumasta ja tämä ominaisuus määrittää miten kangas laskeutuu, miltä kangas tuntuu ja miten kuitu on mahdollista prosessoida langaksi ja sitä kautta kankaaksi. Kuvassa 3. on esitelty eräiden kuitujen kimmokerroin.

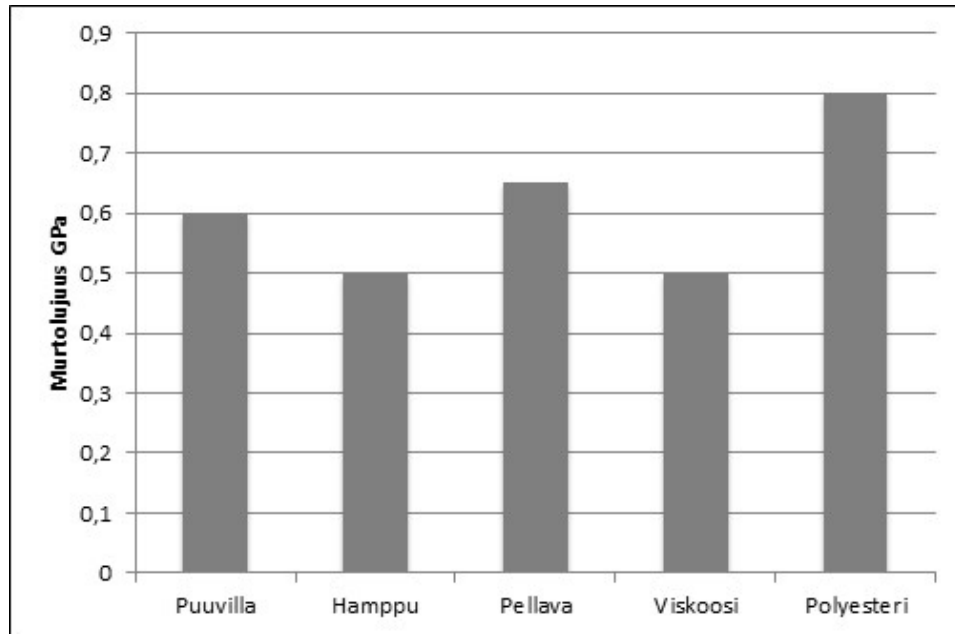


**Kuva 3.** Tekstiilikuitujen kimmokerroin (Bunsell 2009, Chapman 1974, Sinclair 2014)

Kimmokerroin havainnollistaa kuidun jäykkyyttä. Pellavalla on selvästi korkein kimmokerroin perinteisistä tekstiilikuitumateriaaleista. Kuvasta 3. voidaan havaita viskoosin kimmokerroin vaihtelevan kolmen ja 11 GPa:n välillä riippuen valmistustavasta. Kuidun jäykkyys vaikuttaa myös kankaan nyppyyntymiseen. Jäykemmistä kuiduista valmistettujen kankaiden on todettu vastustavan nyppyyntymistä, koska jäykät kuidut ovat lujemmin kiinni kangasrakenteissa ja jäykät kuidut eivät taivu nyppyjä muodostaville solmuille yhtä helposti kuin helpommin taipuvat kuidut. Kuidun jäykkyyteen vaikuttavat sen fysikaalinen ja kemiallinen koostumus, ja halkaisija. Kiteiset kuidut ovat amorfisia kuituja selvästi jäykempiä, joka on mahdollista huomata esimerkiksi puuvillan ja pellavan käyttäytymisestä. Puuvillan selluloosa on selvästi amorfisempaa pellavaan verrattuna ja näin ollen pellava on puuvillan verrattuna jäykempää. Jäykemmistä materiaaleista valmistetut kankaat kestävät kulutusta paremmin, mutta jäykkyyden mukanaan tuomat ominaisuudet usein vähentävät niiden käyttöä kodintekstiileissä ja erityisesti ihoa vasten olevissa tekstiileissä. (Annis 2012, Bunsell 2009, Chapman 1974, Sinclair 2014)

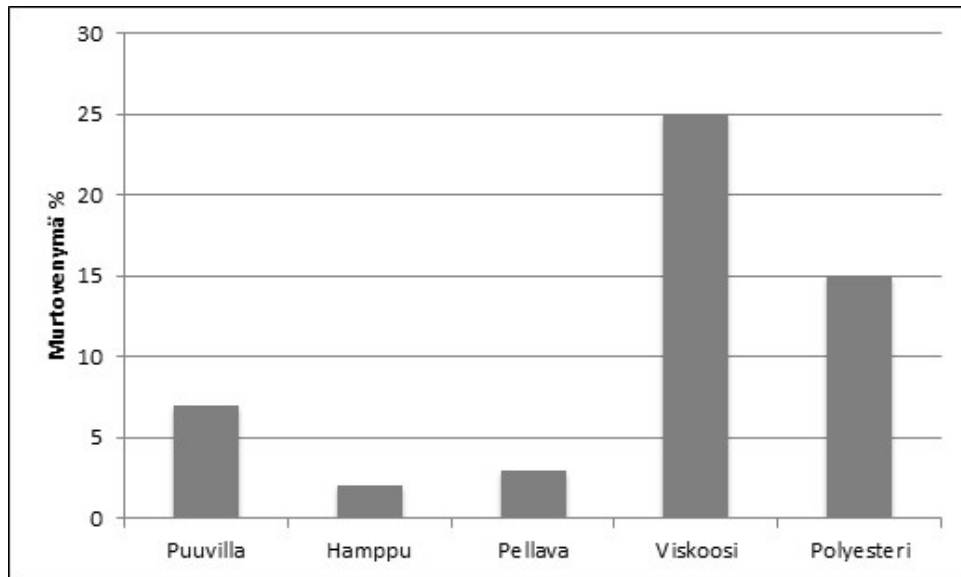
Murtolujuus kuvaa kuidun kykyä vastustaa katkeamista kuitua venyttäessä. Murtolujuus ja sen yhteydessä esiintyvä murtovenymä määrittävät kuinka hyvin kuitu kestää dimensioiden muutoksia ja miten se reagoi niihin. Tällä on suuri vaikutus myös kankaan lopulliseen kykyyn kestää dimensioiden muutoksia. Alhaisen murtolujuuden kuidut katkeavat jo pienistä voimista. Murtolujuuteen ja venymään kuitenkin vaikuttaa erittäin paljon kui-

dun paksuus. Tämän takia kuitujen murtolujuutta verrataan niiden lineaariseen massatiheyteen. Tätä arvoa kutsutaan kuidun lujuudeksi ja sen yksikköinä käytetään yleisesti cN/tex tai g/den. Erityisesti tekokuiduilla, jotka valmistetaan ekstruusiolla, kuidun halkaisija on mahdollista säätää eivätkä yksittäisten kuitujen tulokset olisi vertailukelpoisia ilman suhteutusta paksuuteen. Kuvassa 4. on esitetty eräiden kuitujen murtolujuuksia.



**Kuva 4.** Eräiden tekstiilikuitujen murtolujuuksia (Bunsell 2009, Chapman 1974, Sinclair 2014)

Kuvasta 4. on nähtävissä, että pellavan murtolujuus on luonnonkuiduista korkeimpia 0,65 GPa. Polyesterin murtolujuus vaihtelee eri polyesterilaatujen välillä aina erikoislujan polyesterin 18 GPa:n murtolujuuteen. Kuitujen murtolujuuteen vaikuttaa myös kosteus. Esimerkiksi viskoosin mekaaniset ominaisuudet kärsivät suuresti kuitujen kastuessa. Useissa tutkimuksissa kulutuksenkeston kannalta oleellisempänä ominaisuutena nähdään kuidun lujuuden sijaan murtovenymän. Tekstiilit joutuvat käytössään dimensiomuutosten alaisiksi ja tästä johtuen murtovenymä edistää kulutuksenkestoa. Kuvassa 5. on esitetty eräiden kuitujen murtovenymiä.



**Kuva 5.** Eräiden kuitujen murtovenymää (Bunsell 2009, Gordon & Hsieh 2007, Sinclair 2014)

Kuvasta 5. on nähtävissä murtovenymän ero, jota esiintyy perinteisten luonnonkuitujen ja tekokuitujen välillä. Viskoosin ja polyesterin murtovenymät ovat moninkertaisia verrattuna luonnonkuituihin. Ne siis kestävät suurempia dimensiiovaihteluita ennen kuin kuiduissa alkaa esiintyä rakenteellisia muutoksia. (Annis 2012, Chapman 1974, Gordon & Hsieh 2007, Sinclair 2014)

Lopullisen kangastuotteen ominaisuuksiin vaikuttaa paljon kuidun ja langan geometria. Geometriset ominaisuudet eivät ole homogeeniset koko kuidun ja langan pituudelta. Eri-tyisesti luonnonkuiduissa esiintyy paljon ominaisuuksien vaihtelua johtuen niiden altistuksesta ympäristölle kuitujen kasvaessa ja muodostuessa. Kuidun kestävyys kannalta oleellisiin geometrisiin ominaisuuksiin luetaan kuidun pituus, kuidun ja langan hienous sekä langan kierre. Eri-tyisesti katkokuiduissa kuidun pituuteen vaikuttaa kuidun laatu. Pitkät kuidut sitoutuvat toisiinsa paremmin ja langan pinnalla oleva kuitujen päiden lukumäärä vähenee. Tällä langan karvaisuuden minimoinnilla on huomattu olevan positiivinen vaikutus kankaan kulutuksen kestoon ja nyppyyntymiseen. Katkokuitulankojen valmistuksen yhteydessä nämä karvaisuutta aiheuttavat lyhyimmät kuidut pystytään kampaamaan pois, jolloin kuitupituus kasvaa ja näin valmistetut kampalangat ovat laadukkaampia ja kestävämpiä. Filamenttikuitujen valmistus eroaa suuresti katkokuitujen valmistuksesta ja filamenttikuituja on mahdollista valmistaa lähes äärettömän pituisiksi eikä niiden pinnalle jää kuitujen päitä. Langan lineaarinen tiheys kuvaa langan massaa suhteessa pituuteen. Langan lineaarista tiheyttä on mahdollista kasvattaa lisäämällä kuitujen kierteisyyttä langassa, jolloin kulutuksen kestoa on mahdollista parantaa tiettyyn pisteeseen asti. (Annis 2012, Bralla 2007, Sinclair 2014)

Tutkimuksen kannalta oleelliset kodintekstiilit ovat pääasiassa kudottuja tai neulottuja kankaita. Kankaan rakenne on oleellinen osa sen kestävyyttä. Kestävyyttä lisää myös



tuotteen paksuus. Kankaan paksuuteen pystytään vaikuttamaan erilaisilla kudos- ja neulorakenteilla. Kudotuissa kankaissa langat asettuvat pitkittäissuunnassa aallon muotoon. Tästä johtuen lankoihin ja kuituihin vaikuttavat voimat ovat epäsuoria ja tämä tekee kankaan käyttäytymisestä monimutkaisempaa lankoihin ja kuituihin verrattuna. Kudokset voidaan jakaa kahteen tyyppiin: kaksi- ja kolmeakseliset kudokset. Kaksiakseliset ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan erilaiset loimen ja kuteen suuntiin. Kolmiakseliset kudokset ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan yhdenmukaisempia kaksiakselisiin kudoksiin verrattuna ja niitä käytetään enemmän tuotteissa, joissa homogeenisella käyttäytymisellä on suurempi merkitys. Kodintekstiileissä kaksiakseliset kudokset ovat yleisempiä ja kolmiakselisia kudoksia käytetään erittäin vähän. Kudoksen tiiviydellä ja lyhyillä lankajuoksilla pystytään lisäämään kankaan kulutuksenkestoa ja vähentämään nyppyyntymistä. Pitkät lankajuoksut, altistavat yksittäiset langat kulumiselle ja pitkissä lankajuoksuissa langat ovat alttiimpia tarttumaan ulkoisiin pintoihin ja materiaaleihin helpommin, mikä aiheuttaa lankojen katkeamisia. Kankaan tiheydessäkin on lakipiste, jonka jälkeen langat ja kuidut ovat niin tiheästi pakkautuneet, että kankaan laskeutuvuus kärsii ja kankaan taipuminen aiheuttaa vahinkoa kuiduille. Neulotut materiaalit ovat rakenteestaan johtuen kudottuja herkempiä kulumiselle. Dimensionaaliset muutokset kuluttavat erityisesti neuloksia, koska niiden lenkeistä koostuvat rakenteet antavat myöden. Lenkeillä olevat langat liukuvat helpommin toistensa suhteen, josta seuraa neuloksen rakenteen muutoksia ja kitkaa lankojen välillä, joka vaikuttaa kuituihin. Neuloksissa kulutuksenkestoon pystytään vaikuttamaan lähinnä eri neulostyypeillä. (Annis 2012, Clark 1. 2011)

Kankaan lopullinen kulutuksenkesto on erittäin monimutkainen ominaisuuksien summa, johtuen siihen käytetyistä materiaaleista ja niiden rakenteista. Nämä mekaaniset ominaisuudet määrittelevät suuresti mihin käyttökohteisiin kangasta on lopulta mahdollista ja tarkoituksenmukaista käyttää.

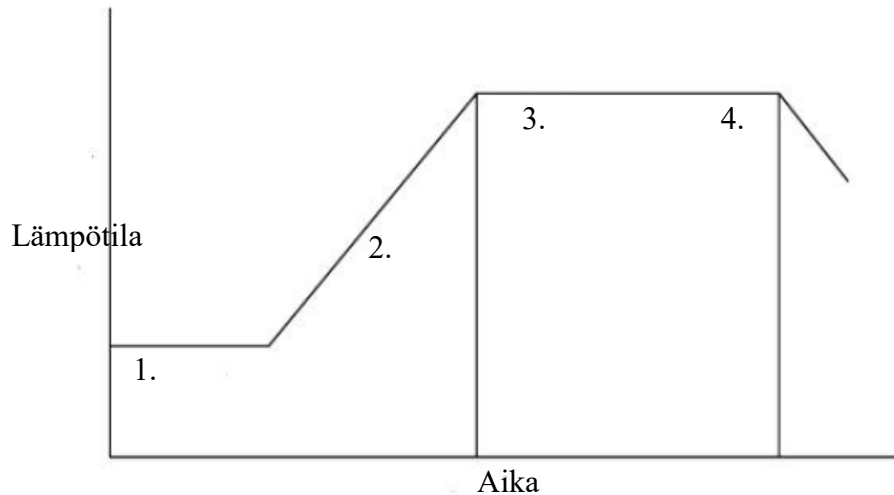
## 2.4 Värjättävyys ja painettavuus

Tekstiilien värjääminen ja niiden esteettiset ominaisuudet ovat olleet oleellinen osa kulttuuria jo tuhansien vuosien ajan. Väreillä on pyritty esittämään ja viestimään asioita sekä niitä on käytetty puhtaasti esteettisistä syistä. Kodintekstiileissä tapahtuu vastaavasti muodin virtauksia kuin vaatetuksessakin ja näillä ilmiöillä on myös vaikutusta toisiinsa. Tekstiilien värit ja kuosit toimivat myös asiakkaiden huomion kiinnittävänä ominaisuutena ja on yksi suurimpia syitä kuluttajatuotteiden hankinnassa. Tästä syystä kuluttajatekstiilien tärkeä ominaisuus on niiden värjättävyys ja painettavuus. Suurin vaikuttaja kankaan lopulliseen värjättävyyteen on sen materiaali. Kullakin kuitutyypillä on sille soveltuvat väriaineet ja värjäysmenetelmät. Tässä kappaleessa esittelen tutkimuksen kannalta oleellisimpine kuitumateriaalien värjäys- ja painettavuustapoja. (Clark 1. 2011, Rowe 2009, Sinclair 2014).

Värjäys voidaan yksinkertaisimmillaan kuvailla prosessina, jossa värjäysliemessä olevaan kuituun kiinnittyy värimolekyylejä, niin että ne jäävät kiinni kuituun pysyvästi eivätkä irtoa takaisin värjäys liemeen. Clark jakaa värjäys liemissä tapahtuvan prosessin vielä syvemmin neljään vaiheeseen.

1. Värimolekyylien diffuusio värjäysliemeen. Tässä vaiheessa molekyylit pyritään saamaan lähelle kuitua, jotta värjäys käynnistyy.
2. Molekyylien absorptio kuidun pinnalle. Molekyylit siirtyvät nestemäisestä värjäysliemestä kiinteän kuidun pintaan ja huokosiin. Värimolekyylien tasainen asettuminen kuidun pinnalle määrittelee sen miten vahva ja tasainen lopullinen värjäystulos on.
3. Molekulaarinen diffuusio kuidun pinnalla olevista värimolekyyleistä syvemmälle kuidun rakenteisiin. Tämä on värjäyksen aikaa vievin osuus. Molekulaarisen diffuusion nopeuteen pystytään vaikuttamaan korottamalla lämpötilaa. Lämpötilan korotuksella on myös vaikutusta kuidun turpoamiseen, joka myös nopeuttaa värjäystä.
4. Värimolekyylien kiinnittyminen kuituun kemiallisilla sidoksilla. Molekyylin ja kuidun välille syntyvä sidos määrittää kuinka hyvin molekyyli on kiinni kuidussa ja kuinka kestävä värjäystulos on.

Kuvassa 6. on esitetty yleinen värjäysprofiili ja yllä esitetyt värjäyksen vaiheet. Värjäyksen alussa lämpötila on noin 30-40 °C . Ensimmäisessä vaiheessa värjäyslientä sekoitetaan, jotta värin konsentraatio koko liemessä olisi mahdollisimman tasainen. Vähitellen lämpötilaa nostetaan kohti värin kiinnittymiseksi vaadittavaa lämpötilaa, joka voi olla jopa 130 °C joidenkin polyesterien värjäyksessä. Vaiheissa 3. ja 4. tapahtuu värin lopullinen kiinnittyminen. Jatkuvatoimisessa värjäyksessä kangas siirtyy pois värjäysliemestä pestäväksi. Kappalevärjäyksessä kangas pestään värjäyskoneessa tai siirretään pesuun toiseen koneeseen. (Clark 1. 2011)



**Kuva 6.** Värjäysprofiili (Clark 1. 2011)

Keskeisin värjäykseen vaikuttava kuidun ominaisuus on sen rakenne. Useimmat teko- ja luonnonkuitumateriaalit ovat polymeeriketjuja. Kuitumateriaalin värjäytymisen edellytyksenä on se, että värimolekyylien on pystyttävä tunkeutumaan polymeerin rakenteeseen. Tämä asettaa tiettyjä vaatimuksia. Clark kuvaa seuraavat vaatimukset värjäyksen edellytyksenä:

1. Värimolekyylien konsentraation tulee olla korkeampi värjäysliemessä kuin kuidussa, jotta diffuusio kuidun pinnalle tapahtuisi.
2. Kuidun polymeerirakenteessa tulee olla riittävästi tilaa, jotta värimolekyylit pystyvät liikkumaan rakenteen lävitse ja asettumaan kattavasti koko rakenteen ympärille.
3. Kuidun polymeerirakenteen tulisi olla myös riittävän joustava, jotta värimolekyylien olisi mahdollista liikkua sen suhteen.

Värimolekyylin koolla on suuri merkitys, koska kuidun polymeerirakenteessa olevilla aukkoilla ja raoilla on vaikutus värjättävyyteen. Pienemmät värimolekyylit peittävät kuidun paremmin ja pystyvät liikkumaan sen sisälle. Myös kuidun amorfisten ja kiteisten alueiden osuus vaikuttaa. Kiteiset alueet eivät reagoi veden kanssa, joten amorfiset alueet vastaanottavat värimolekyylit. Kuidun polymeerien yksittäiset merkit ja värimolekyylit voivat olla sidoksissa neljällä mahdollisella sidoksella: van der Waalsin, vety-, ioni- ja kovalenttisilla sidoksilla. Sidoksen tyyppi vaikuttaa sidoksen voimakkuuteen ja kuinka tiukasti värimolekyyli on kiinni kuidun rakenteessa. Taulukossa 1. on esitetty kirjallisuudesta poimittujen eri sidostyyppien sidosennergiat. Sidosennergiat kertovat sidoksen vahvuudesta ja siitä kuinka paljon energiaa tarvitaan sidoksen murtamiseen. (Clark 1. 2011)

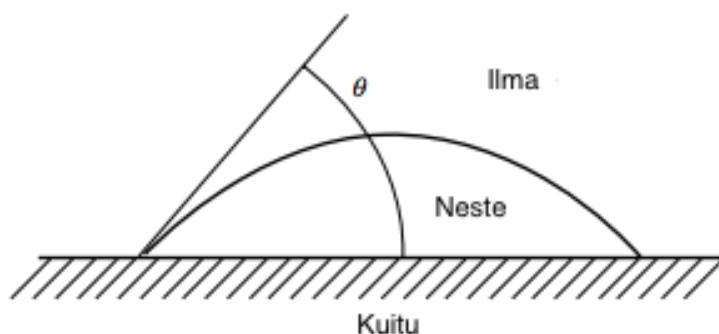
Sidostyyppi	Sidosenergia
van der Waalsin sidos	$\leq 8,5$ kJ/mol
vetysidos	8-155 kJ/mol
kovalenttinen sidos	146-1072 kJ/mol
Ionisidos	787-2255 kJ/mol

**Taulukko 1.** Värjäykseen vaikuttavien kemiallisten sidosten sidosenergiat (Clark 1. 2011, Zumdahl, S. S. & DeCoste 2013)

Kuidun kastuvuus kuvaa kuinka helposti vesimolekyyli pystyy tunkeutumaan kuidun sisälle. Tällä on suuri vaikutus värjäykseen, koska tavoitteena on ympäröidä ja kattaa koko kuitu värjäysliemellä hyvän värjäystuloksen aikaansaamiseksi. Tähän vaikuttavat kiinteän kuidun, nestemäisen värjäysliemen ja ilman väliset pintajännitykset sekä kuidun pinnan ja värjäysliemi pisaran välinen kulma. Kaava (2) esittää Young-Dupren laskukaavaa, jolla voidaan laskea kulman suuruus mihin värjäysliemipisara asettuu kuidun pinnalle. Kaavassa  $\gamma_{ki}$  on kiinteän ja ilman välinen pintajännitys,  $\gamma_{kn}$  on kiinteän ja nesteen välinen pintajännitys ja  $\gamma_{ni}$  on nesteen ja ilman välinen pintajännitys.

$$\gamma_{ki} = \gamma_{kn} + \gamma_{ni} \cos \theta \quad (2)$$

Tämä kulma määrittää kuinka helposti kuitu kastuu. Kuva 6. havainnollistaa tätä kuidun ja värjäysliemen välistä kulmaa. Kulman suuruus määrittää kuinka helposti kuidun kastuminen tapahtuu.



**Kuva 7.** *Kuidun ja värjäysliemen välinen kulma (Clark 1. 2011)*

Kulman ollessa 0 astetta kuitu on täysin kastunut ja värjäysliemi on täysin imeytynyt kuidun sisään. Kulman ollessa 180 astetta värjäysliemi ei imeydy lainkaan kuituun eikä kuidun kastumista tapahdu. Värjäysliemi jää tässä 180° kulmassa kuidun pintaan täydelliseksi pisaraksi. (Clark 1. 2011)

Värjäys kuluttaa paljon energiaa sekä kemikaaleja. Tästä johtuen värjäyksen ekologiaan on kiinnitetty erityistä huomiota ja erilaisia rajoituksia on asetettu Euroopan unionin alueella (ECHA 2017). Erityisesti värjääminen kuluttaa vettä ja energiaa. Värjäysliettä on vaihdettava tasaisin väliajoin ja värien kiinnittymisen varmistamiseksi sitä on lämmitettävä korkeisiin lämpötiloihin. (Sinclair 2014)

Painaminen eroaa tekniikaltaan erittäin paljon värjäämisestä, vaikka väriaineet painossa ovat samoja kuin värjäyksessä. Painettaessa kankaalle levitetään painopastaa, joka sisältää väriaineiden lisäksi erilaisia apuaineita painotuloksen parantamiseksi. Yleisesti painospasta koostuu pigmenteistä, paksuntimista ja kiinnitysaineista. Paksuntimet mahdollistavat painopastan oikean säännöstelyn ja kiinnitysaineet tarttuvat kankaan pintaan. Painopasta levitetään kankaan pinnalle tiheän verkon läpi, joka muodostaa lopullisen painettavan kuvion. Tämän jälkeen painopasta kiinnitetään kuituun lämpöuunissa. Yleisimmät painotavat ovat rotaatio- ja laakapaino. Ne käsittävät yli 80% kaikesta painotoiminnasta (Sinclair 2014). (Clark 1. 2011)

Värjäyksessä ja painossa painettava materiaali määrittää minkälaisia väriaineita on mahdollista käyttää. Väriaineet jaetaan yleisesti kymmeneen luokkaan. Osa väriaineista soveltuu vain yksittäiselle kuidulle ja toiset soveltuvat laajalle kirjolle kuituja. Taulukossa 2. on esitetty yleisimmät väriaineet ja niille soveltuvat kuidut.

	Akryyli	Asetaatti	Polyesteri	Polyamidi	Proteiini	Selluloosa
Atso						x
Dispersio	x	x	x	x		
Happo					x	
Kyyppi						x
Metalli- kompleksi					x	
Reaktiivi				x	x	x
Rikki						x
Suora						x

**Taulukko 2.** Tekstiilien väriaineiden soveltuvuuksia eräille kuiduille (Sinclair 2014)

Selluloosakuiduille on kehitetty enemmän väriaineita niiden yleisyyden takia. Suorien värien suosio puuvillan värjäyksessä johtuu laajasta väriskaalasta, matalasta hinnasta ja helposta värjäysprosessista. Tosin suorien värien pesunkesto ja huono kiinnittyminen kuituun on johtanut reaktiivivärien yleistymiseen puuvillan värjäyksessä. Reaktiivivärit ovat laaja ryhmä värejä. Niitä yhdistää substituenttiryhmä, joka irrotetaan väriryhmästä kemiallisesti, jolloin väriyhmä reagoi kuidun kanssa ja tarttuu kuituun. Kyypivärit ovat veteen liukenemattomia ja ne pelkistetään emäksisissä oloissa veteen liukeneviksi. Pelkistetty kyypiväri tarttuu kuituun. Tämän vaiheen jälkeen värimolekyylit hapetetaan takaisin alkuperäiseen veteen liukenemattomaan muotoon. Tunnetuin kyypiväri on indigo, jota käytetään denim tuotteiden valmistukseen. Rikkivärit ovat erittäin monimutkaisia rakenteeltaan, mutta ne kiinnittyvät kuituun hyvin ja tuottavat syviä värejä. Rikkivärit pysyvät kuidussa hyvin myös märkänä ja niiden valonkesto vaihtelee kohtalaisesta hyvään. Atsovärit ovat niin sanottuja *in situ* värejä, jotka muodostuvat vasta värjäysliemessä. Atsovärejä käytetään pääasiassa kirkkaisiin väreihin ja joihinkin tummansinisen ja mustan sävyihin. Reaktiivivärit ovat laaja ryhmä värejä. Niitä yhdistää substituentti ryhmä, joka irrotetaan väriryhmästä kemiallisesti jolloin väriyhmä reagoi kuidun kanssa ja tarttuu kuituun. Happovärit kiinnitetään kuituun nimensä mukaisesti alhaisessa pH:ssa. Happovärien vaatimat pH-arvot vaihtelevat kolmen happoväriyhmän sisällä 3-7 pH-arvon välillä. Metalliväritkompleksi ovat myös happovärejä, mutta niiden sisältämät metalliatomit tekevät niistä rakenteeltaan hyvin erilaisia verrattuna perinteisiin happoväreihin. Jotta metalliatomit reagoivat kuitujen kanssa, ne vaativat hyvin happamat olosuhteet. Nämä olosuhteet rajoittavat metallikompleksiväreillä värjättävien kuitujen skaalaa. Metallikompleksivärien etuna on erittäin hyvät kulutus-, märkäpysyvyys- ja valonkesto-ominaisuudet, mutta metallikompleksivärien värit eivät ole kirkkaimpia sävyiltään. Dispersio

värit soveltuvat yksinomaan hydrofobisille tekokuiduille. Värit tarttuvat heikosti kuituun ja siksi dispersiovärjäyksessä värjäyksen jälkeen usein tarvitaan pelkistys vaihe, jolla irttonainen väriaine saadaan pois kuidun pinnalta värin päästön minimoimiseksi. Dispersiovärit vaativat 100 °C lämpötiloissa apuaineita värimolekyylien diffuusion aikaansaamiseksi. Nämä apuaineet aiheuttavat kuidussa pahaa hajua ja heikentyneitä ominaisuuksia. Apuaineiden ongelmista johtuen polyesteriä värjätään paineistetussa 130 °C lämpötilassa, jolloin apuaineiden käyttöä voidaan vähentää. Värjäysmenetelmään vaikuttaa myös lainsäädäntö. Esimerkiksi osalle atso- ja rikkiväreistä on asetettu rajoituksia Euroopan unionin toimesta niiden karsinogeenisten hajoamistuotteiden ja ekologisten haittojen ansioista (ECHA 2017). (Sinclair 2014, Clark 1. 2011)

Sekoitekankaita käytetään luomaan erilaisia ulkonäöllisiä ja käyttöön vaikuttavia ominaisuuksia kankaisiin. Tuotannon kustannuksissa on myös mahdollista säästää sekoitteilla. Sekoitekankaiden värjääminen kuitenkin monimutkaistaa värjäysprosessia huomattavasti. Väriaineiden soveltuvuus vaihtelee paljon kuitujen, lämpötilan ja menetelmien mukaan. Sekoitekankaan rakenne määrittää myös onko molemmat kuidut värjättävä. Lankoihin on mahdollista kehrätä eri materiaaleista pinta ja sisus. Sekoite kankaita voidaan materiaaleista riippuen värjätä samanaikaisesti. Yleisempää on kuitenkin kahdesti värjääminen jolloin eri materiaalit värjäytyvät eri vaiheissa. (Clark 2. 2011)

Värjätty kuluttajatekstiilit altistuvat pääasiassa seuraaville kulutustyypeille elinkaarensa aikana ja näiden tuotteiden värinkeston tulisi täyttää ne. Sinclair määrittää nämä värinkeston parametrit seuraavasti: pesuaineilla pesu, aineenvaihdunnan tuotteet, lämmin vesi, kuivana ja märkänä hankautuminen sekä valo. Tuotteet, jotka altistuvat aineenvaihdunnan tuotteille eli pääasiassa hielle, tulisi kestää hien pH, joka sijoittuu kuuden ja seitsemän välille. Koska useimmat väriaineet ovat vesiliukoisia, ovat ne myös alttiita irtoamaan pyykinpesun yhteydessä. Tähän vaikuttavat väriaineen tyyppi, värimolekyylin koko, kuidun ja värimolekyylin välinen sidos, värimolekyylin kiinnityspaikka kuidussa ja pesuaineen koostumus. Kankaiden hankautuessa toisiaan vasten on riskinä värin siirtyminen kankaasta toiseen ja haalistuminen. Tämän siirtymän taustalla voi olla heikosti kiinnittyneet värimolekyylit, aivan kuidun pinnassa olevat värimolekyylit, riittämätön kankaiden huuhtelu ja pesu värjäyksen jälkeen tai värimolekyylien vesiliukoisuus. (Clark 1. 2011, Sinclair 2014)

Värjäys ja painettavuus ovat lähes tärkeimmät ominaisuudet, joita kuluttajatekstiilillä voi olla. Värjäyksen ja painon tulokset ovat suuri osa asiakkaan ostopäätöstä ja niiden kesto välittyy kuluttajalle tuotteen laatuna. Onnistuneen värjäystuloksen aikaansaamiseksi ja kestävä tuotteen toimittamiseksi kankaan on käytävä läpi useita vaiheita. Oikein tehtynä värjäyksessä värimolekyylit tarttuvat tiukasti kuituun ja ylimääräiset kemikaalit ja väriaineet saadaan pois kankaasta sen värjäyksen jälkeisten pesujen avulla.

## 2.5 Valonkesto

Tekstiilit altistuvat valolle käytössä jatkuvasti. Vain harvat tekstiilit pystyvät välttämään tämän altistuksen täysin. Valonkesto kuvaa kuitujen ja lopullisen kankaan stabiiliutta auringonvalon altistuksen seurauksena. Auringonvalo vaikuttaa sekä materiaalin kestävyys-teen että ulkonäköön. Erityisen auringonvalolle alttiita kodintekstiilejä ovat verhot ja verhoiluun käytettävät tekstiilit. Pitkäkestoinen auringonvalolle altistuminen vaikuttaa erityisesti tekstiilien vetolujuuteen. Kuluttajalle helpommin näkyvä auringonvalon vaikutus on muutokset tekstiilien esteettisissä ominaisuuksissa kuten värien haalistumisessa. Auringon valossa olevalla ultraviolettivalolla on suurin vaikutus tekstiilituotteisiin. Ultraviolettivalon taajuudet sijoittuva 100 nm ja 400 nm välille. UV-valo jaetaan kolmeen ryhmään: UV-A, UV-B ja UV-C. UV-C säteily on haitallisinta, mutta ilmakehä torjuu UV-C säteilyä, joten sen vaikutukset ovat epäoleellisia kuluttajan kannalta. UV-B säteily sijoittuu 280 nm ja 315 nm:n välille ja UV-A 315 nm ja 400 nm:n välille. Eri kuidut absorboivat ultraviolettisäteilyä eri aallonpituuksilla ja osaan kuiduista vaikuttaa vain tietyt UV-säteilyn tyypit. Esimerkkinä puuvilla, joka absorboi voimakkaasti UV-säteilyä välillä 200-300 nm, mutta 400 nm aallonpituudella absorboituminen on jo vähäistä. Absorption kasvaessa myös vaikutukset kuituun kasvavat. Ultraviolettisäteily vaikuttaa voimakkaimmin tekstiilituotteiden pinnassa oleviin väripigmentteihin ja valkaistuihin kankaisiin. (Annis 2012, Clark 1. 2011, Cook 1984)

### 2.5.1 Valonkesto ja mekaaniset ominaisuudet

Valolla on suuri vaikutus tekstiilin mekaanisiin ominaisuuksiin. Kuituihin vaikuttaa pääasiassa näkyvä ja ultraviolettivalo. Ultraviolettivalolla on näistä kahdesta huomattavan paljon suurempi ja nopeampi vaikutus kuitujen ominaisuuksiin. Valo heikentää erityisesti kuidun murtolujuutta. Tämä johtuu ultraviolettivalon vaikutuksista polymeerin rakenteisiin. Vaikutukset vaihtelevat kuidun materiaalista riippuen. Polymeerirakenteen heikkeneminen on havaittavissa kuidussa pienentyneessä murtolujuudessa, murtovenymässä, kastuvuudessa ja kuidun massan pienenemisenä. Vaikka kuidun mekaaniset ominaisuudet kärsivät ultraviolettivalosta, useammin syy tuotteen elinkaaren päättymiseen on sen ulkonäöllisten ominaisuuksien muuttuminen valolle altistumisen seurauksena. (Annis 2012)

### 2.5.2 Valon vaikutus värjäykseen ja viimeistykseen

Värjättyjen tekstiilien valonkesto on erittäin monimutkainen ketju tapahtumia ja siihen vaikuttavat useat eri aspektit. Clark esittelee 15 tekijää jotka vaikuttavat värjätyn kuidun valonkestoan. Nämä ovat:

- kosteus
- valolle altistumisen aika



- lämpötila
- hapen ja UV-valon määrä
- värimolekyylien määrä
- kuidun ja väriaineiden tiiviys
- väripartikkeleiden koko
- väriaineen katalyyttiset vaikutukset
- epäpuhtaudet kuidussa ja väriaineessa
- valolle altistuneen alueen koko
- valon aallonpituus
- aromaattisen yhdisteen stabiilisuus
- substituentin jääminen värimolekyyliin
- värin tummuusaste
- kuidun ja värin valojohtavuus

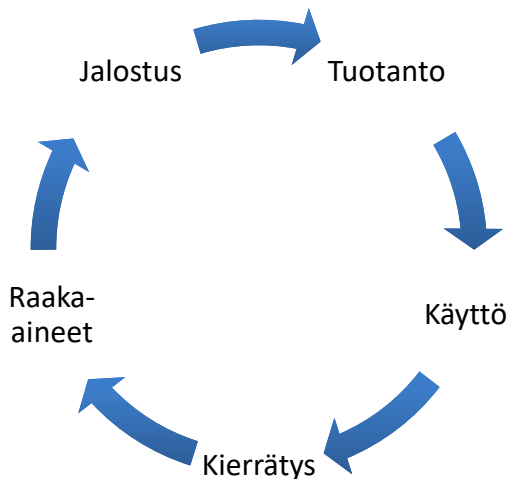
Lista käsittää sekä värjäysprosessista johtuvia, että käytöstä johtuvia syitä värjäyksen heikentymiselle. Aallonpituudeltaan lyhyt valo kuluttaa väriä nopeammin kuin pidemmän aallonpituuden valo. Epäpuhtaudet heikentävät värien kiinnittymisastetta kuituun, jolloin valonkesto heikkenee. Tummiin sävyjen vaaleneminen on helpommin huomattavissa verrattuna vaaleampiin, koska suurempi prosentti väriaineesta haalistuu tummissa sävyissä. Tiedetyt kyyppivärit ovat tunnettuja erinomaisesta kiinnittyvyydestään puuvillaan, johtuen värimolekyylien pienestä koosta. Nämä pienet väriaineet pysyvät erittäin tiiviisti kiinni puuvillan selluloosarakenteessa ja kankaan väri säilyy hyvin. Toisaalta suuret väripartikkelit haalistuvat hitaammin kuin pienet partikkelit. Ilmankosteus vaikuttaa kuituun tuomalla happea kuidun pinnalle, jolloin hapettumista alkaa tapahtua nopeammin verrattuna kuivassa ympäristössä oleviin kankaisiin. (Clark 1. 2011)

Valo vaikuttaa tekstiilituotteisiin usein eri tavoin. Tämä on otettava huomioon tuotteiden materiaalien valinnassa ja prosessoinnissa valmiiksi kankaaksi. Valonkesto tulee ottaa huomioon, kun tuotteen tiedetään alistuvan valolle ja kuidun mekaanisilla ja värinkestolla on merkitys tuotteen funktiolle. Kankaan altistumista valolle on hankala estää, mutta erilaisilla UV-stabilaattoreilla on mahdollista pinnoittaa kuituja niiden valonkestoja parantamaan.

## 2.6 Tuotteiden ekologisuus ja elinkaarianalyysi

Tämän tutkimuksen yksi lähtökohdista on puuvilla tuotannon ekologiset ongelmat. Kuluttajat ovat alkaneet vaatia yrityksiltä vastuullisuutta. Tuotteiden ekologisuus ja ympäristövaikutukset ovat nousseet oleellisiksi osiksi kulutuskäyttäytymistä. (Horne 2012) Tekstiileiden kulutus on kasvanut kehittyvien talouksien johdosta vuoden 2000 8,5 kg:sta vuoden 2011 12,0 kg:n per henkilö. Tuotteet vaikuttavat ympäristöön koko elinkaarensa ajan raaka-aineiden hankinnasta tuotteen käytön päättymiseen ja kierrätykseen. Elinkaa-

rianalyysi on oleellinen työkalu tuotteiden ekologisten vaikutusten arviointiin. Elinkaari-analyysillä kuvataan tuotteen koko elinkaaren aiheuttamia ja sen valmistuksesta johtuvia ympäristövaikutuksia. Yleinen tapa kuvata tuotteen elinkaarta ovat erilaiset sykliset diagrammit.



**Kuva 8.** Yksinkertainen syklinen diagrammi materiaalien kierrosta. (Ashby 2013)

Diagrammit voivat yksinkertaisimmillaan kuvata tuotteen valmistusvaiheet raaka-aineista valmiiksi tuotteeksi kuten kuvassa 8 on esitetty. Diagrammit voivat myös olla hyvin yksityiskohtaisia ja ilmaista kunkin vaiheen aiheuttamat oleelliset ympäristövaikutukset ja vaiheista syntyvät jätteet. Elinkaarianalyysin tekeminen vaatii tarkkaa suunnittelua ja rajausta, jotta tulokset ovat relevantteja. (Ashby 2013)

Ashby esittää tuotteille olevan useita syitä elinkaarensa päättymiseen. Kodintekstiileihin näistä on sovellettavissa kaksi, fyysinen ja miellyttävyyden elinkaari. Fyysisen elinkaaren päättyessä tuotteessa alkaa esiintyä kulumisen merkkejä ja se alkaa hajota. Miellyttävyyden elinkaareen vaikuttavat trendit ja muoti. Miellyttävyyden elinkaaren päättyessä tuote on vielä ehjä ja se täyttää sille asetetut funktionaaliset ominaisuudet, mutta sen esteettiset ominaisuudet ovat vanhentuneet eivätkä täytä käyttäjän sille asettamia esteettisiä vaatimuksia. (Ashby 2013)

Tuotteille voidaan laskea olevan useampi elinkaari. Ensimmäinen elinkaari alkaa raaka-aineitten ollessa ensi kertaa käytössä tuotteen valmistamiseen. Ensimmäisen elinkaaren jälkeen Ashby listaa tuotteelle viisi mahdollista vaihtoehtoa:

1. Tuotetta ei uudelleen käytetä mitenkään ja se muuttuu jätteeksi
2. Tuote poltetaan energian tuottamiseksi
3. Tuote kierrätetään uusiksi materiaaleiksi
4. Tuotteen korjattavissa olevat osat korjataan tai vaihdetaan uudempiin, jolloin tuote saa toisen elinkaaren
5. täysi uusiokäyttö, jossa tuotetta käytetään sellaisenaan toisen käyttäjän toimesta

Muthun mukaan tekstiilien mahdollisia kierrätysvaihtoehtoja ovat lisäksi polymeerien muuttaminen monomeereiksi, tekstiiliteollisuuden jätteen uusiokäyttö ja kuluttajatuotteiden prosessointi raaka-aineiksi. (Ashby 2013, Muthu 2015)

Muthu jakaa tekstiilien elinkaarianalyysin viiteen osa-alueeseen:

1. hiilijalanjälkeen
2. energian kulutukseen
3. ympäristövaikutuksiin
4. uusiokäytettävyyteen
5. käyttövaiheen ympäristövaikutuksiin

(Muthu 2015)

Hiilijalanjälki on tuotteelle laskettava arvo, joka pyrkii ottamaan huomioon koko tuotteen elinkaaren aikana aiheuttamat kasvihuonepäästöt. Hiilijalanjäljen tutkimus jaetaan kolmeen osaan: tutkimuksen asetteluun, päästöjen tutkimiseen ja tulosten analysointiin. Tutkimuksen asettelussa määritetään kuinka laajasti ja tarkasti päästöt lasketaan ja määritellään. Päästöjen tutkimuksessa valitulla tarkkuudella analysoidaan tuotteen materiaaleista, tuotannosta, käytöstä, kuljetuksesta ja hävittämisestä aiheutuvia kasvihuonepäästöjä. Tuloksia analysoidessa otetaan huomioon tuotteen elinkaaren kasvihuonepäästöt ja niiden tyypit. Eri kasvihuonekaasut vaikuttavat eri tavalla ilmastoon ja niiden vaikutusajat vaihtelevat. (Muthu 2015)

Energiankulutus on yksi teollisuuden suurimpia ekologisia ongelmia. Energiankulutus tuotteen tuotannossa vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen ja hintaan. Tekstiilituotteiden ekologisuus ja samalla energiankulutus ovat nousseet viime aikoina enemmän kuluttajien mielenkiinnon kohteeksi. (Fraj-Andrés & Martínez-Salinas 2007). Energian kulutus kuvaa tuotteen valmistuksen ja käytön aiheuttamaa hiilijalanjälkeä, joka syntyy energiankulutuksesta. Tekstiiliteollisuudelle on laskettu vuonna 2012 10,33 EJ:n vuotuinen energiankulutus. Tekstiilejä lasketaan tuotetun tuolloin 82 miljoonaa tonnia. Tästä voidaan karkeasti arvioida yhden tekstiilikilon kuluttavan noin 126,05 MJ energiaa. Muthu laskee tekstiiliteollisuuden energian tuotannon olevan kaksi prosenttia maailman energian tuotannosta joka vastaa 0,18 gigatonnin vuotuista hiilidioksidipäästöä. (Muthu 2015)

Ekologinen jalanjälki kuvaa kuinka paljon maapallon pinta-alaa tuotteen tai materiaalin valmistaminen kuluttaa tai kuinka suuri pinta-ala tarvitaan tuottamaan vastaavat luonnonvarat. Esimerkkeinä ekologisen jalanjäljen arvoista: luomu hampputonnin tuottamiseksi tarvitaan 1,5 hehtaaria. Tämä on pienimpiä ekologisia jalanjälkiä tekstiiliteollisuudessa. Hamppua voidaan verrata Euroopassa tuotettuun polyesteriin. Polyesteritonin tuottamiseksi kuluu 1,67 hehtaaria. Vaikka polyesterin raaka-aineena käytetään öljyä, sen kuluttama maa-ala on lähes yhtä suuri hamppuun verrattuna, koska hampun viljely vaatii suuren maa-alan. Vastaavasti puuvillan tuotantoon lasketaan kuluva 3,57 hehtaaria ton-

nia kohti ja luomupuuvillalla 2,17 hehtaaria tonnia kohti. Yksittäiselle tuotteelle ekologisen jalanjäljen suuruus saadaan laskemalla yksittäisen tuotteen osuus kaikesta tuotannon kuluttamista materiaaleista, energiasta, päästöistä ja jätteistä. (Muthu 2015)

Uudelleenkäyttö on ekologisin vaihtoehto, kun tuote saavuttaa elinkaarensa lopun. Uudelleenkäyttö ei vaadi tuotteen lisäprosessointia tai muitakaan energiaa kuluttavia vaiheita. Uudelleenkäyttö myös lykkää tuotteen joutumista kaatopaikalle, joka on elinkaari-analyysin kannalta huonoin ratkaisu, koska tämän jälkeen todennäköisyydet tuotteen ja sen materiaalien uudelle elinkaarelle ovat erittäin pienet. Uudelleenkäyttö vaatii tuotteen säilymistä ensimmäisen elinkaarensa läpi ilman suuria vaikutuksia sen funktionaalisiin ominaisuuksiin. (Muthu 2015)

Tekstiilituotteen kaikista elinkaaren vaiheista käyttövaiheella on suurin vaikutus sen ekologisuuteen. Käyttövaiheessa tekstiili kuluttaa eniten energiaa ja luonnonvaroja suhteessa muihin elinkaaren vaiheisiin. Käyttövaiheessa kuluttajatekstiilituote kuluttaa energiaa ja vettä erityisesti pesussa, kuivauksessa ja silytyksessä. Tekstiilituotteen peseminen aiheuttaa suurimman osan käyttövaiheen hiilijalanjäljestä. Lopulliseen käyttövaiheen kokonaishiilijalanjälkeen vaikuttavat pesukertojen lukumäärät. Muthu esittää useita laskelmia puuvillan hiilijalanjäljelle. Nämä tulokset vaihtelevat suuresti välillä 18 kg CO<sub>2</sub>/kg ja 1108 kg CO<sub>2</sub>/kg. Yhtenäistä kaikille laskemille oli tuotteen kuivaamisen hiilidioksidipäästöt. Koneellinen pyykinkuivaus kasvattaa tekstiilituotteen hiilijalanjälkeä erittäin paljon. Tuote, joka pestään 60 °C ja kuivataan koneellisesti, omaa lähes kymmenkertaisen hiilijalanjäljen verrattuna tuotteeseen, joka pestään 40 °C ilman koneellista kuivausta. Laskentatavat käyttövaiheen hiilijalanjäljelle vaihtelevat tutkimuksesta riippuen erittäin paljon. Yhteistä kaikille olivat seuraavat vaikutteet: (Muthu 2015)

- Pesun lämpötila, pesukoneen energiatehokkuus ja pesujen määrä
- kuivauksen aika, lämpötila, kuivaustapa ja kuivauksien määrä
- silytyksen aika ja lämpötila

Tekstiilituotteen ekologisuuteen ja hiilijalanjälkeen vaikuttavat sen elinkaaren kaikki vaiheet. Käyttövaiheella on kuitenkin selvästi suurin vaikutus tuotteen veden- ja energian kulutukseen. Ekologiset valinnat käyttövaiheessa voivat muuttaa lopullista hiilijalanjälkeä huomattavasti

### 3 KODINTEKSTIILIT

Kodintekstiilit ovat erittäin laaja ja monimuotoinen tuoteryhmä (Slater 2003). Kodintekstiileiksi Rowe määrittelee erilaiset seinävaatteet, pöytäliinat, matot, ryijyt, sisustuskankaat, vuodevaatteet, verhot, pyyhkeet ja patjat. Näiden eri kodintekstiilien vaatimukset ovat hyvin erilaisia, joten niiden asettamat vaatimuksetkin kuiduille ovat hyvin erilaisia. (Rowe 2009) Tässä kappaleessa keskityn Finlaysonin suurimpiin tuoteryhmiin vuodevaatteisiin, pyyhkeisiin ja sisustuskankaisiin. Esittelen näiden tuoteryhmien vaatimuksia ja erityispiirteitä, joita ne asettavat kuiduille. (Finlayson: Tuotteet 2017, Slater 2003)

#### 3.1 Kodintekstiilien vaatimukset

Yksi kaikkia kodintekstiilejä yhdistävä tekijä on tuotteen esteettinen ulkonäkö. Esteettinen ulkonäkö luodaan kankaisiin erilaisin painatuksin, värjäämällä ja viimeistelyksillä. Kodintekstiilituotteen tulee siis olla mahdollisimman hyvin värjättävissä. Erilaiset käyttökohteet asettavat myös kuiduille hyvin erilaisia ja tarkkoja vaatimuksia. Ihon kanssa kosketuksissa olevilta tekstiileiltä vaaditaan erityisesti mukavuutta ja hyvää tuntua. Tekstiilihuoltoliitto arvioi kodintekstiilien kestävän kuluttuja käyttöä taulukossa 3. esitettyjen aikojen mukaan.

Tuote	Aika (vuotta)
Aluslakanat ja tyynyliinat	5
Pussilakanat	8
Verhot, puuvilla- ja puuvillatyypiset	5
Käsipyyhe	5
Kylpypyyhe	7
Tuolin irtohuppu	5
Sohvan pehmustetyynyjen päälliset	4
Sohvan irtopäälliset	4

**Taulukko 3.** Kodintekstiileille arvioituja käyttöaikoja kuluttajille (Tekstiilihuoltoliitto ry 2017)

Käyttökohteesta riippumatta kodintekstiilien käyttöaika on useita vuosia. Kodintekstiilituotteen kunnon ylläpito ja pesun helppous vaikuttavat kuluttajan ostopäätökseen. Tietoisuus tuotteiden ekologisuudesta ja sitä kautta ekologisempien tuotteiden vaatiminen on

lisääntynyt kuluttajien keskuudessa. Brodshlin ja Carpenterin mukaan useat tutkimukset osoittavat korrelaation ekologisuuden tiedostamisen ja ekologisen kulutuskäyttäytymisen välillä. Koska osa kodintekstiileistä on tuotteita, joita ei ole mahdollista pestä helposti koneellisesti, tulee niiden kestää pinnan pesua ilman, että se aiheuttaa merkittäviä muutoksia tuotteen ulkonäköön. (Brodshl & Carpenter 2010, Chapman 2010, Lyle 1976, Rowe 2009)

### 3.1.1 Vuodevaatteet

Vuodevaatteilla voidaan nähdä yleisesti olevan sama funktio kuin ihoa vasten olevalla vaatetuksella: mukavuuden ylläpito. Näihin ominaisuuksiin kuuluu kankaan hyvä tuntu sekä lämmön ja kosteuden siirtäminen kankaan läpi pois iholta. Myös esteettiset ominaisuudet liittyvät oleellisesti vuodevaatteisiin. Esteettisten ominaisuuksien ja psykologisen mukavuuden saavuttamiseksi on vuodevaatemateriaaleja pystyttävä värjäämään ja viimeistelemään. Vuodevaatteiden pesusykli on hieman vaatteita pidempiä, mutta lämpötilat korkeampia. Tämä asettaa väreille ja kankaiden stabiiliudelle suurempia vaatimuksia. Värjäystapa ja käytetyt materiaalit määräävät vuodevaatteiden huollossa käytettävän veden lämpötilan. Annis listaa ihon kanssa kosketuksissa olevien vaatteiden oleellisiksi kuituominaisuuksiksi seuraavat: murtolujuus, dimensionaalinen stabiilius, värin pitävyys, kosteuden- ja lämmönsiirto ja ilman läpäisevyys. (Annis 2012, Kozlowski 2. 2012, Labarthe 1964, Lyle 1976, Song 2011, Stylios 1991)

### 3.1.2 Pyyhkeet

Froteepyyhkeet ovat kankaita, joissa on erityisiä lenkkejä kudottuna kankaan yhdelle tai molemmille puolille jacquard-koneella. Näiden lenkkien tarkoitus on lisätä imukykyä ja pehmeyttä. (Gooch 2007) Kuivaamiseen tarkoitettun kankaan olennaisin funktio on sen kyky kuivata eli sitoa vettä itseensä. Ihon kanssa kosketuksissa olevien tekstiilien oleellinen ominaisuus on niiden tuntu ihoa vasten. Pyyhkeissä nämä molemmat ominaisuudet on oltava. Puuvillan ominaisuudet sopivat hyvin juuri tähän tarkoitukseen. Puuvillalla on hyvä vedensitomiskyky ja luonnonkuituna sillä on hyvä tuntu ihoa vasten. Materiaali valinnan lisäksi kankaan kuivausominaisuuksia voidaan muokata sen rakenteella. Näissä lenkeissä lankojen on mahdollista olla löysemmällä kierteellä, joka mahdollistaa paremman veden- sitomiskyvyn. Tämä johtuu langan suuremmasta pinta-alasta. Pyyhkeet ovat jatkuvasti kosketuksissa veden kanssa ja pyyhkeitä pestään korkeissa lämpötiloissa. Kuten vuodevaatteille, tämä asettaa pyyhkeen värjäytävyydelle tiettyjä rajaehdoja. Värien tulee olla kestoaltaan hyviä ja veteen liukenemattomia. Kuitujen fyysisiä ominaisuuksia pyyhkeille ovat: murtolujuus, hankauksenkesto ja mittapysyvyys. (Annis 2012, Labarthe 1964, Lyle 1976, Singh & Verma 2016)

### 3.1.3 Sisustuskankaat

Sisustuskankaat ovat laaja tuoteryhmä, joka käsittää verhot, päällyskankaat, pöytäliinat ja koristetyynyjen päälliset. Sisustuskankaissa ei ole yksittäistä oleellista rakennetta kuten pyyhkeissä. Tuntua ja laskeutuvuutta voidaan parantaa erilaisilla sidoksilla, mutta se vaikuttaa myös tuotteen lopulliseen kestävyYTEEN. Sisustuskankaiden elinkaaren aikana niitä pestään huomattavasti vähemmän verrattuna muihin kodintekstiilituotteisiin. Sisustuskankaiden kulutuksenkestoissa on suuria eroja. Tyynyt ja päällyskankaat altistuvat suuremmalle hankauskulutukselle kuin pyyhkeet ja vuodevaatteet. Verhot taas altistuvat vain vähän, jos lainkaan, tämän kaltaiselle hankaavalle kulutukselle. Lyle asettaa kiinteille sisustuskankaille oleellisiksi pesutavoiksi käsinpesun. Sisustuskankaiden värjäysten ja viimeistysten tulisi olla veden ja hankauksen kestäviä, koska niitä ei ole aina mahdollista irrottaa konepesua varten. Sisustuskankaista erityisesti verhot altistuvat erittäin paljon UV-säteilylle. Tämä asettaa sekä verhojen materiaaleille että värjättävyydelle rajat. UV-stabiiliutta on mahdollista parantaa viimeistyksin. Sisustuskankaille Annis listaa seuraavat oleelliset kuituominaisuudet: murtolujuus, hankauskesto, mittapysyvyys, värin kesto. (Annis 2012, Labarthe 1964, Lyle 1976)

### 3.1.4 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään puuvillalle potentiaalisia korvaavia materiaaleja. Puuvillan suuri osuus kodintekstiileissä johtuu sen kuituominaisuuksista. Tutkimuksen kannalta oleelliset ominaisuudet kodintekstiileillä on esitetty kuvassa 9.

	Pyyhkeet	Sisustuskankaat	Vuodevaatteet
murtolujuus/murtovenymä/sitkeys	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
vedensitomiskyky	<b>x</b>		
värinkesto	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
värjättävyys	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
dimensioiden stabiilisuus	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
valonkesto		<b>x</b>	
kosteuden siirto	<b>x</b>		<b>x</b>
kuuma pesu	<b>x</b>		<b>x</b>
ilman läpäisevyys			<b>x</b>

**Taulukko 4.** Kodintekstiilien vaatimia kuituominaisuuksia (Annis 2012)

Kuvassa 9. esitetyt ominaisuudet ovat monelta osin hyvin samankaltaisia kaikilla tutkituilla kodintekstiileillä. Osaan ominaisuuksista pystytään vaikuttamaan myös tuotteen rakenteella. Esimerkiksi stabiilit dimensiot vaativat tuotannolta hyvin tehdyt loppukäsittelyt, jotta kankaaseen ei jää suuria jännitteitä.



## 4 KODINTEKSTIILIMATERIAALIT

Tässä kappaleessa esittelen kuitumateriaaleja, jotka ovat valikoituneet ominaisuuksiltaan kodintekstiileihin sopivimmiksi. Kyseisten kuitujen valintaan on vaikuttanut niiden kodintekstiileihin sopivuus ja samankaltaisuus puuvillaan verrattuna, ympäristövaikutukset ja tuotteiden valmistuksen hinta.

### 4.1 Puuvilla

Puuvilla on puuvillakasvin *Gossypium* siemenhahtuvista saatava luonnonkuitu, jota on käytetty jo yli 5000 vuotta. Puuvillan ominaisuudet, hinta ja viimeistysmahdollisuudet tekevät siitä hyvin monipuolisen materiaalin. Läpi historian puuvillaa on kehitetty vastaamaan sille asetettuja tarpeita ja vaatimuksia. Näihin ominaisuuksiin lukeutuu nopeampi kukkiminen, suurempi kuitujen pituus ja tuholaisia vähentävät ominaisuudet. Monipuolisuudesta johtuen puuvilla on edelleen yksi käytetyimpiä tekstiilimateriaaleja maailmassa. Vuonna 2004 puuvillan osuus kaikesta käytetystä kuidusta oli arviolta 40%. (Cook 1984, Nelson *et al.* 2014) Seuraavissa kappaleissa esittelen puuvillan kuituominaisuuksia ja syitä puuvillan vaihtoehtojen tarpeelle.

#### 4.1.1 Puuvillan kuituominaisuudet

Puuvillan on yksi maailman käytetyimpiä tekstiilikuituja juuri sen kuituominaisuuksista johtuen. Puuvilla koostuu lähes täysin selluloosasta ja määritellään täten selluloosakuiduksi (Nelson *et al.* 2014). Puuvillan selluloosapitoisuus on keskimäärin 94% (Kozlowski 1. 2012). Selluloosa koostuu polymeeriketjuista ja se määrittää puuvillan mekaaniset, fyysiset ja kemialliset ominaisuudet.

Tutkimuksen kannalta oleellisia fyysisiä ominaisuuksia kuiduilla ovat sitkeys, murtolujuus ja murtovenymä. Puuvillan murtolujuudeksi kirjallisuudessa ilmoitetaan 0,6 GPa. Murtovenymät puuvillalla asettuvat 3% ja 6% välille. Puuvillan lujuudelle kirjallisuudesta löytyy paljon arvoja 2,08-6,3 g/den välille. Suuren sitkeyden saavuttamiseksi puuvillakuitujen tulee olla erittäin hyvälaatuisia. Puuvillan lujuusominaisuudet paranevat hieman sen kastuessa. (Gordon & Hsieh 2007, Sinclair 2014)

Puuvillankuidun korkea selluloosapitoisuus johtaa sen pinnalla olevien hydroksyyliyhmiä korkeaan lukumäärään- Nämä hydroksyyliyhmiä mahdollistavat puuvillan hyvän vedensitomiskyvyn. Tämä tekee puuvillasta hydrofiilisen ja se pyrkii sitomaan vettä itseensä. Puuvillakuidun kosteuden absorptioksi kirjallisuus ilmoittaa 8,5 %. Lopulliseen puuvillalangan vedensitomiskykyyn voidaan vaikuttaa langan kierteen kireydellä. Löysempi kierre langassa nopeuttaa nesteen siirtymistä kuidun pinnalle ja neste pääsee liikkumaan nopeammin kuidun ympärille ja sille on useampia hydroksyyliyhmiä vapaana.

Nesteen nopea leviäminen kuituun nopeuttaa myös kankaan kosteuden siirtoa ja hengittävyyttä, koska kosteus siirtyy nopeasti lankoja ja kuituja pitkin pois iholta. (Morton & Hearle 2008, Sinclair 2014)

Puuvillan hyvä värjättävyys johtuu sen polymeeriketjun kyvystä vastaanottaa värimolekyylejä. Selluloosakuituja värjätään enimmäkseen atso-, kyyppi-, reaktiivi-, rikki- ja suoraväreillä. Näistä käytetyimpiä ovat reaktiivivärit, koska niillä on laaja väriskaala ja hyvä pysyvyys. Selluloosakuitujen värjääminen on melko samankaltaista kuidusta riippumatta. Kuidun oma väri vaikuttaa hieman lopulliseen värjäystulokseen. Puuvilla on väriltään hyvin vaalea eikä värjäyksen lopputuloksessa ole juurikaan havaittavissa jäänteitä puuvillan omasta väristä. Vaaleimmille sävyille puuvillaa on mahdollista valkaista ennen värjäystä, jolloin kuidun ominaisväri ei vaikuta värjäystulokseen. (Clark 1. 2011, Khatri *et al.* 2015)

Kankaan dimensioiden epästabiilisuuteen vaikuttavat jännitykset, jotka jäävät kankaaseen tuotannon aikana. Tämä epästabiilius tulee esiin kankaan kastuessa ja kuumassa pesussa. Nämä jännitykset on mahdollista poistaa relaksoimalla kangas tuotannon lopussa. Puuvillalla on kuitenkin taipumus kutistua kuumemmissa pesuissa. (Munden 1960, Sinclair 2014)

Altistuessaan auringonvalolle puuvillassa alkaa esiintyä kellastumista. Samalla kun puuvilla kellastuu auringonvalosta, myös kuitujen vetolujuus heikkenee (Cook 1984). Puuvillan altistuessa UV-valolle puuvillan hydroksyyli-ryhmät alkavat hapettua. Samanaikaisesti myös puuvillan glykosidisissä sidoksissa voidaan huomata repeämiä, jotka aiheuttavat selluloosapolymeerien heikentymistä ja kuidun polymerisaatioaste laskee. Värjäyksen valonkestoon vaikuttaa värjäyksen laatu ja väriyyppi. (Annis 2012)

Puuvillakankaan ja -kuidun ominaisuudet ovat tehneet puuvillasta yhden käytetyimmistä tekstiilimateriaaleista. Prosessoinnin helppous ja laaja väriskaala tekevät siitä hyvin kiinnostavan valmistajille. Helpoilla prosesseilla valmistajan on mahdollista luoda kuluttajille monipuolisia ja kiinnostavia tuotteita.

#### **4.1.2 Puuvillan ympäristövaikutukset**

Puuvillakuitu kasvaa 0,6-2 metriä pitkässä puuvillakasvissa. Puuvillakasvi vaatii kasvaakseen keskimäärin 150 aurinkoista päivää ja erittäin paljon puhdasta vettä. Nämä olosuhdevaatimukset asettavat puuvillalle kohtalaisen pienen kasvialueen maapallolla. Puuvillan suurimmat viljelijävaltiot ovat Yhdysvallat, Kiina, Intia, Brasilia, Turkki ja Pakistan. Puuvillan viljelypinta-alasta 53% sijaitsee alueille, joilla sademäärät eivät riitä kattamaan puuvillan vedentarvetta ja puuvillan tuotanto vaatii erillistä kastelua. 95% tästä kastelualasta perustuu tulvakasteluun, joka on erittäin tehoton ja vettä kuluttava kastelu-tapa.

Tulvakastelu kuluttaa myös maaperän ravinteita nopeammin kuin muut kastelutavat. Veden kulutus on puuvillan tuotannon suurin ekologinen ongelma. (Muthu 2015, Nelson *et al.* 2014, Thibodeaux *et al.* 2014, Slater 2003)

Puuvilla vaatii kastelun lisäksi myös runsaasti hyönteismyrkkyjä. Maailmanlaajuisesti puuvilla vastaa arviolta 25 % kaikesta hyönteismyrkkyjen kulutuksesta ja 11% maailman rikkakasvimyrkyistä. (Blackburn 2009, Muthu 2015)

Puuvillalla on ekologisten vaikutusten lisäksi paljon eettisiä vaikutuksia. Monet alueet, joilla puuvillaa kasvatetaan, ovat vielä kehittyviä valtioita, joissa työolot ja lait eivät vastaa ihmisoikeuksia. Näissä maissa puuvillan kasvattaminen kuitenkin käsittää suuren osan ihmisten tuloista. (Anderson & Valenzuela 2007, Human rights watch 2017)

Viljelyn lisäksi värjäys kuluttaa erittäin paljon vettä ja energiaa ja on puuvillan tuotannon toinen suuri hiilijalanjäljen määrittelijä. Yleisin tapa värjätä selluloosakuituja on reaktiivivärjäys. Reaktiiviväreillä värjätessä syntyy kuitenkin paljon jätevesiä, jotka ovat emäksisiä ja sisältävät paljon suoloja. (Kozlowski 1. 2012) Hyvin tehty värjäys takaa tekstiilituotteelle hyvän värinkeston ja dimensioiden stabiiliuden. Huolellinen värjäys, huuhtelu ja pesu kuitenkin vievät energiaa vesien lämmittämisen ja lämmön ylläpidon muodossa.

Muthu esittelee erilaisten puuvillakankaiden elinkaaren aikana tuottamia päästöjä. Tuotteet ovat tavalliset kankaat, pyyhkeet ja lakanat. Päästöt on laskettu GWP eli global warming potential arvojen mukaan, joka kuvaa kasvihuonepäästöjä hiilidioksidiksi muunnettuna: hiilidioksidikiloa suhteessa kangas kiloon. Pyyhkeille, lakanoille, kankaille ja puuvillakuiduille Muthu esittää seuraavat GWP-arvot:

- pyyhe 7 kg CO<sub>2</sub>/kg.
- lakana 12-15 kg CO<sub>2</sub>/kg
- kangas 10 kg CO<sub>2</sub>/kg
- puuvillakuitu 2 kg CO<sub>2</sub>/kg

Valmiin kuidun GWP on lopullisen tuotteen GWP:hen verrattuna monin kerroin pienempi. Tämä ero johtuu tuotteen valmistuksen ja käyttövaiheen suuresta energian ja veden kulutuksesta. (Muthu 2015)

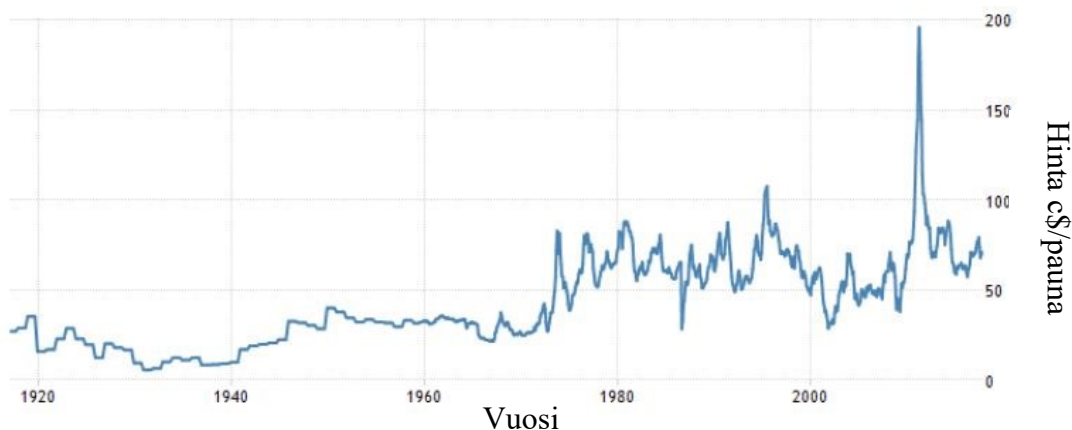
Puuvillan ekologisista ja eettisistä ongelmista uutisoiminen on lisännyt kuluttajien tietoisuutta tekstiiliteollisuuden ongelmista ja ohjaa kuluttajia vaatimaan ekologisempia tuotteita. (Brosdahl & Carpenter 2010)

#### 4.1.3 Puuvillan hintakehitys

Hinta on keskeisessä roolissa tekstiiliteollisuudessa sekä valmistajalle että kuluttajalle. Puuvillan raaka-aineen hinnanmuutokset heijastuvat puuvillatuotteiden hintoihin hyvin

suorasti. Yksi puuvillan merkittävistä käytön laajuuteen ja määrään vaikuttava ominaisuuksista on ollut sen alhainen hinta. Puuvillan hinta on jatkanut pidempään tasaista kasvua ja erilaiset satoja tuhoavat tapahtumat ja valtioiden asettamat rajoitukset ovat luoneet suuria piikkejä hinnan kehityksessä. (Bloom times 2011, Trading economics 2017)

Kuvassa 10. on nähtävissä puuvilla raaka-aineen hinnankehitys vuodesta 1920 vuoteen 2017. Kuvassa 11. on esitetty puuvilla raaka-aineen markkina hinta senttidollareissa paunaa kohden vuosien 2007 ja 2017 välillä.



**Kuva 9.** Puuvillan hintakehitys 1920-2017 (Trading economics 2017)



**Kuva 10.** Puuvillan hintakehitys 2007-2017 (Trading economics 2017)

Puuvillan hintaan vaikuttaa vuotuisen puuvillasadon suuruus. Ilmastosta johtuva satojen tuhoutuminen puuvillan suurilla kasvatusalueilla nosti puuvillan hintaa räjähdysmäisesti vuonna 2011. (Bloom times 2011)

Puuvilla on hinnankehitykseltään melko stabiili, mutta suurien satojen tuhoutuminen on olemassa oleva riski tuottajalle, kutojalle ja valmiin tuotteen myyjälle. Suuri sadon tuhoutuminen voi aiheuttaa merkittäviä piikkejä puuvillan hintaan hyvinkin nopeasti.

## 4.2 Kierrätetty puuvilla

Kierrätetty puuvilla lisää puuvillan elinkaaren pituutta. Samalla myös puuvillan viljelystä aiheutuvat ekologiset ongelmat jakautuvat useammalle elinkaarelle vähentäen kokonais-hiilijalanjälkeä. Toisella elinkaarellaan kierrätetystä puuvillasta puuttuu täysin puuvillan viljelyn käyttämä vesi ja hyönteismyrkyt. (Muthu 2016)

Puuvillan kierrätykseen on useita metodeja. Karkeasti ne voidaan jakaa kahteen ryhmään: mekaaniseen ja kemialliseen kierrätykseen. Mekaaninen kierrätys tarkoittaa puuvillajätteen kierrätystä sellaisenaan. Kemiallinen kierrätys muuttaa puuvillakuidut viskoosiksi. Kemiallista kierrätystä käsitellään kappaleessa 4.7. Mekaanisessa kierrätyksessä puuvilla- kankaasta poistetaan värit ja viimeistysaineet, langat puretaan takaisin katkokuiduiksi ja niistä valmistetaan lisää uutta lankaa. Mekaaninen kierrätys vaikuttaa kuitujen laatuun. Mitä vähemmän jätetuuvillaa on prosessoitu, sitä parempilaatuista kuitua siitä on mahdollista valmistaa. Kankaan tuotannon alkupään leikkuujätteestä on mahdollista valmistaa lähes kierrättämättömän puuvillan laatuista lankoja. Kierrätetty puuvilla on ominaisuuksiltaan lähes kierrättämättömän puuvillan veroista. Mekaanisten ominaisuuksien heikkenemistä tapahtuu kuitenkin hieman. (Muthu 2016)

## 4.3 Pellava

Kuten puuvilla, pellava on kauan käytetty kuitumateriaali. Ihmiset ovat tietävästi käyttäneet pellavaa jo 30 000 eaa. Pellava on *Linum usitatissimum* kasvista saatava selluloosakuitu. Pellavakuidut sijaitsevat puuvillasta poiketen pellavakasvin varressa ja kuuluvat runkokuitujen ryhmään. (Kozlowski 1. 2012)

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan pellava on puuvillaa lujempi ja kestävämpi. Pellavan sitkeys on 5,4-6,5 g/den suurempi puuvillan verrattuna. Pellavan murtolujuus on 0,65 GPa ja murtovenymä on 2,7-3,3 %. Puuvillan verrattuna pellavan selluloosapitoisuus on hieman pienempi. Pellavan selluloosapitoisuus asettuu 64-84 % välille. Pellava sisältää enemmän pektiiniä ja hemiselluloosaa 19 % verrattuna puuvillan 5 %, mikä tekee pellavasta puuvillaa jäykemmän kuidun ja sen laskeutuvuus on vähäisempää puuvillan verrattuna. Pellavasta on mahdollista saada puuvillamaisempaa puuainesta poistavalla prosessilla. Prosessissa pellava kuidut ensin keitetään tai käsitellään kemiallisesti. Keittämisen jälkeen kuitujen pituutta lyhennetään ja hienoutta parannetaan poistamalla mahdollisimman paljon puumaista materiaalia kuiduista. Ylimääräistä puuainesta pyritään karsaamalla vielä vähentämään. Tämän prosessin avulla pellavaa on mahdollista kehrätä kuin puuvillaa. Pellavan kosteuden absorptio on 10-12 %. (Kozlowski 1. 2012, Sinclair 2014)

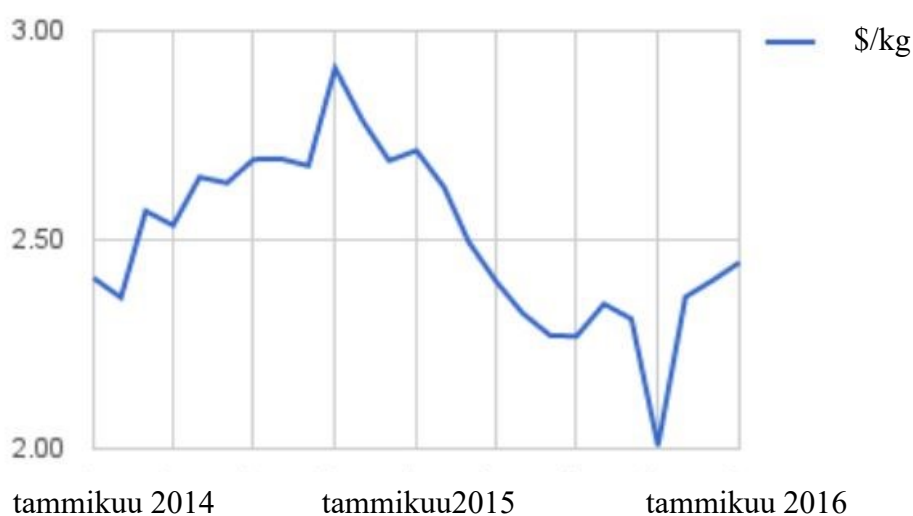
Pellava on väriltään tummempaa kuin puuvilla ja sen värjäys on hieman hankalampaa verrattuna puuvillan värjäämiseen. Myöskin väriskaala pellavalla on suppeampi ja kirk-

kaimmat värit ovat haastavampia värjätä. Pellava ei vastaanota väriä yhtä hyvin kuin puuvilla. Kuten muille selluloosakuiduille pellavalle sopivat reaktiivi-, kyyppi- ja suoratvärit. (Kozlowski 1. 2012, Sinclair 2014)

Pellava kestää hyvin auringonvaloa. Altistuessaan pitkään UV-valolle se kuitenkin tummuu. Myös mekaaniset ominaisuudet kärsivät pellavan kiteisten alueiden pienentyessä UV-valon vaikutuksesta. Murtovenymä laskee 200 tunnin UV-valo altistuksen jälkeen keskimäärin 10 % ja murtolujuus 15 %. (Annis 2012)

Pellavan dimensionaalinen stabiilisuus on hyvä eikä se kutistu helposti. Kuumassa pesussa pellavan tuotannossa jääneet jännitteet voivat relaxoitua, joka saattaa aiheuttaa hie-man muutoksia pellavakankaan dimensioihin. Huolellisesti tehty relaxointi tuotannossa minimoi kuluttajan pesussa aiheuttamat relaxoitumisesta johtuvat dimensioiden muutokset (Sinclair 2014)

Kuvassa 12. on esitetty pellavakuidun hinnan kehitystä tammikuusta 2014 tammikuuhun 2016. Hinta on ilmoitettu dollaria/kilo pellavakuitua kohtaan. Hinta on Euroopasta Kiinaan viedyn pellavakuidun hinta.



**Kuva 11.** Pellavakuidun hinnan kehitys tammikuu 2004-tammikuu 2016 (*Emerging textiles 2017*)

Kuten puuvilla myös pellava on altis satojen tuhoutumiselle ja nopeille hinnan muutoksille. (Emerging textiles 1. 2017)

Pellava kasvaa puuvillaan verrattuna laajemmalla alueella ja sen veden kulutus on vähäisempää puuvillaan verrattuna. Laajempi viljelylle soveltuva alue on myös suurien satojen kannalta turvallisempi. Pellavan suurin tuottaja vuonna 2014 oli Kanada. Pellavan GWP hiilidioksidi päästöt sijoittuvat 1,1 ja 1,8 CO<sub>2</sub> kg/kg välille. (Muthu 2014)

## 4.4 Hamppu

Hamppu on *Cannabis* genus kasvista valmistettava kuitu. Hamppukuitu on monilta ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen kuin pellava. Molemmat ovat runkokuituja ja valmistetaan hyvin samankaltaisilla menetelmillä kasvista kuiduksi.

Ominaisuuksiltaan hamppu on pellavaa kovempi ja väriltään hieman tummempi. Tumma väristä ja heikosta värien tarttumisesta johtuen hampun värjääminen on vaikeaa. Hamppukuitujen selluloosapitoisuus on puuvillaa ja pellavaa alhaisempi 67-78 % ja pektiini- ja hemiselluloosapitoisuus 17 %. Hampun korkea lingiinipitoisuus tekee siitä hyvin stabiilin auringon valolle. Laskeutuminen ja tuntu ovat hamppukankaissa pellavaan verrattavissa, mutta hamppu on hieman heikommin laskeutuva ja tuntu on karheampi. Hamppu pystyy absorboimaan kosteutta 12 % ja tästä johtuen hampun vedensitomiskyky, kosteuden siirto ja ilman läpäisevyys ovat hieman heikompia kuin pellavalla, mutta puuvillaa parempia. Hamppu pystytään kankaan tuotannossa stabilisoimaan hyvin mittapysyväksi. Franckin mukaan hamppukankaan kutistumat ovat 1,5 ja 2,5 % välillä. (Franck 2005, Kozłowski 1. 2012, Muthu 2014)

Hamppu on mekaanisilta ominaisuuksiltaan lähempänä pellavaa kuin puuvillaa. Suurin syy tähän on pellavan ja hampun rakenne. Hampun mekaaniset ominaisuudet: murtolujuus 0,50 GPa ja murtovenymä vaihtelee eri lähteistä riippuen 1,4 % ja 4 % välillä. Sitkeys hampulla on 3-7 g/den. Hampun kuidut ovat jäykempiä ja siksi niiden murtovenymä on alhaisempi kuin muilla esitellyillä kuiduilla. (Franck 2005, Shahzad 2012)

Hampun GWP-arvo sijoittuu 1,3 ja 1,8 välille kuidun valmistustavasta riippuen. Hampun GWP-arvo on hyvin lähellä pellavan GWP-arvoja. Hampun veden kulutus on pellavaan verrattuna lähes kolminkertaista, mutta hamppu ei tarvitse lainkaan hyönteis- ja rikkakasvimyrkkyjä. Tämä johtuu hampun nopeasta kasvamisesta ja kypsymisestä sadonkorjaamiseen. (Muthu 2014)

Hamppu ja pellava ovat tekstiiliominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia. Hamppu on kuitenkin hieman kovempi, jäykempi ja kalliimpi kuin pellava. Hampun hinta vaihtelee laadun ja toimittajan mukaan erittäin paljon 2 \$/kg:sta aina 30 \$/kg. (Alibaba 2017) Pärjätäkseen pellavalle kodintekstiilimateriaalina hamppu hinnan tulisi laskea. (Kozłowski 2. 2012)

## 4.5 Viskoosi

Viskoosi on eri selluloosamateriaaleista regeneroitu selluloosamuuntokuitu. Yleisin raaka-aine viskoosille on puusellu. Viskoosin ominaisuudet ovat hyvin lähellä puuvillaa mikä tekee viskoosista yhden käytetyimmistä tekokuiduista. (Cook 2. 1984)

Viskoosi valmistetaan sellusta ja sen hinta on stabiilimpi luonnonkuituihin verrattuna, koska vuosittaisen sadon suuruus ja ilmaston muutokset eivät juurikaan vaikuta viskoosin

valmistukseen. Viskoosikuidun valmistaminen tuottaa 3,8 kg CO<sub>2</sub>/kg kuitua kasvihuonepäästöjä. Viskoosin tuotannossa käytetty rikkihiili nostaa sen GWP-arvoa huomattavasti. (Cook 2. 1984, Muthu 2015)

Viskoosilla on puuvillaa suurempi kuivalujuus 2,6-3,1 g/den. Puuvillasta poiketen viskoosin lujuus heikkenee sen kastuessa. Viskoosin märkälujuus on 1,2-1,8 g/den kun puuvillalla vastaava arvo on vähintään 3,1 g/den. Murtovenymä viskoosilla on 18-25 %. Murtojujuus viskoosilla vaihtelee 0,2 GPa ja 0,5 GPa välillä. (Cook 2. 1984, Sinclair 2014)

Viskoosin vedensitomiskyky on parempi kuin millään luonnon tai synteettisellä kuidulla. Korkea vedensitomiskyky johtuu viskoosin rakenteen vähäisestä kiteisyydestä. Laajoihin amorfisiin alueisiin veden on helppo sitoutua. Viskoosin absorptio-kyky on 11 %. Viskoosi on stabiili auringon valolle ja pitkällä altistumisella on vain vähän vaikutusta sen mekaanisiin ominaisuuksiin. UV-valo ei aiheuta viskoosille värinmuutoksia. Viskoosin dimensionaalinen stabiilius vastaa puuvillaa. Viskoosin rakenne kestää kiehuvaa vettä, mutta kankaat voivat kutistua pesussa jännitteiden lauetessa. Pesun yhteydessä on kuitenkin huomioitava viskoosin mekaanisten ominaisuuksien heikkeneminen kuitujen kastuessa. (Cook 2. 1984, Sinclair 2014)

Viskoosi on rakenteeltaan hyvin lähellä puuvillaa, joten sille soveltuvat samat värjäysmenetelmät kuin puuvillalle. Viskoosia värjätessä tulee huomioida sen lujuuden heikkeneminen kastuessa ja kuitujen turpoaminen. Puuvillaan verrattuna värimolekyylit tarttuvat paremmin viskoosiin ja värjäytyminen tapahtuu vähemmällä värillä. Viskoosille suurin käytetty väriyhmä on suoratvärit. Suorillaväreillä saavutetaan viskoosille laaja väriskaala ja hyvä värinpysyvyys. (Cook 2. 1984)

Koska viskoosi on muuntokuitu kuitu, ei sen hintaan vaikuta luonnonkuitujen vaihtelevat sadot. Viskoosin hintaan vaikuttaa hienous ja lähtömateriaalit. Hienoimpien viskoosien valmistaminen on hankalampaa ja vaatii tarkempaa tuotantoa. Huhtikuussa 2016 1,33 tex laatuisen viskoosifilamenttikuidun hinta Kiinassa asettui 5,87 ja 5,88 dollariin per kiloa. (Emerging textiles 2. 2016, Muthu 2015)

## 4.6 Sekoitteet

Tässä kappaleessa esittellään joidenkin tekstiilikuitujen sekoitteista valmistettuja lankoja. Sekoitteiden suhteita ja materiaaliyhdistelmiä on lähes loputtomasti ja niiden vaikutukset ominaisuuksiin vaihtelevat hyvin paljon. Käyn läpi kirjallisuudesta poimittuja ominaisuuksia ja esittelen miten erilaiset sekoitussuhteet vaikuttavat lankojen ominaisuuksiin.

Sekoittamalla tekstiilikuituja toisiinsa on mahdollista tuoda esiin erilaisia ominaisuuksia. Clark on listannut yleisimmiksi kodintekstiileissä käytetyiksi sekoitekankaiksi seuraavat: polyesteri/pellava vuodevaatteille ja viskoosi/puuvilla pyyhkeille. Polyesterillä saadaan



laskettua vuodevaatteiden hintaa verrattuna täyspellavaiseen tuotteeseen. Lisäämällä viskoosia puuvillapyyhkeeseen sen vedensitomiskyky paranee, mutta märkälujuus pysyy täysin viskoosista valmistettua pyyhettä parempana. (Clark 2. 2011) Pellava ja puuvilla on yleinen sekoitekangas kodintekstiileissä. Tällä pyritään luomaan puuvillan pehmeä olemus ja pellavan hyvä ilmanläpäisevyys, joka luo viileän tunteen iholle. Taulukossa 3. on esitetty kirjallisuudesta poimittuja eri suhteilla sekoitettujen lankojen hienouksia ja lujuuksia.

	hienous	sitkeys
pellava 10%/puuvilla 90%	5,55 den	1,30 g/den
pellava 20%/puuvilla 80%	5,55 den	1,16 g/den
pellava 15%/ viskoosi 85%	5,55 den	1,16 g/den
pellava 30%/polyesteri 70%	5,04 den	1,95 g/den
pellava 30%/polyesteri 70%	5,26 den	2,20 g/den
pellava 30%/polyesteri 70%	5,71 den	1,77 g/den

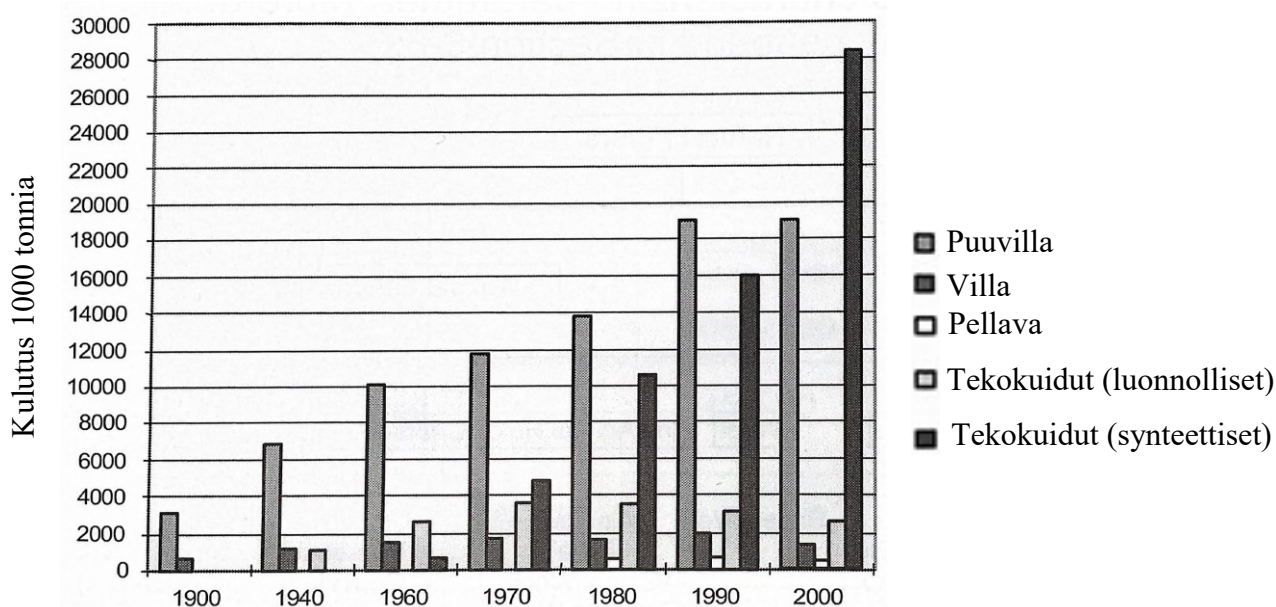
**Taulukko 5.** *Sekoitelankojen sitkeyksiä perustuu lähteeseen (Kozlowski 1. 2012)*

Kuitujen seossuhde vaikuttaa langan lopullisiin ominaisuuksiin. Taulukosta 3. voidaan huomata, että vahvemman pellavakuidun lisääminen lankaan ei kasvata langan lujuutta. Tämä johtuu puuvilla- ja pellavakuitujen heterogeenisuudesta, koska ne eivät sitoudu toisiinsa täydellisesti. Tästä johtuen lankaan muodostuu virheitä ja lujuus heikkenee. (Kozlowski 1. 2012)

Kodintekstiileissä sekoitteilla pyritään vaikuttamaan hyvin erilaisiin ominaisuuksiin. Nämä vaihtelevat aina tunnusta mekaanisiin ominaisuuksiin. Kalliimpia raaka-aineita pystytään myös osittain korvaamaan säilyttäen kuitenkin kalliimpien kuitujen ominaisuudet langoissa ja kankaissa.

## 5 KUITUMATERIAALIEN KEHITYS JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Kuitumateriaaleja on kehitetty läpi ihmiskunnan historian ja niiden kehitys on nopeutunut vuosisatojen saatossa. Kuvasta 9. on nähtävissä tekstiilimateriaalien kulutuksen kehittyminen 1900-luvun aikana. Tekokuitujen kehitys alkoi 1800-luvun lopulla. Ensimmäisinä näistä oli selluloosapohjainen viskoosi. 1900-luvun alkupuolella ja keskivaiheilla synteettiset tekokuidut alkoivat kehittyä ja niiden käyttö yleistyi. Kuvassa 9. voidaan huomata miten puuvilla ja synteettiset tekokuidut hallitsevat tekstiiliteollisuutta materiaaleina. (Wulforth *et al.* 2006)



**Kuva 12.** Tekstiilien kulutus vuosina 1900-2000 (Wulforth *et al.* 2006)

Kuitujen kehityksen ja suuren kokoluokan käyttöönoton välinen aika on lyhentynyt erittäin paljon 1900-luvulla. Esimerkiksi viskoosin, polyamidin (Nylon) ja polyesterin kulutus kasvoi niiden kehittämisen seuranneina kolmena vuosikymmenenä nollassa useaan miljardiin tuotettuun kiloon. Näiden kuitujen kehitys näkyy kuvassa 9. synteettisten kuitujen suurena kasvuna 1960-luvusta eteen päin. (Chapman 1974)

### 5.1 Kehitteillä olevat materiaalit ja prosessit

Asenteiden muutokset ja kuluttajien vaatimukset ympäristöystävällisimmille tuotteille on luonut uuden tutkimusalan tekstiilituotteille: ekologisemmat kuidut. Nämä materiaalit pyrkivät korvaamaan perinteiset ja vähemmän ekologiset kuidut ja kuitujen valmistustavat uusilla tehokkaammilla ja ympäristöystävällisemmillä ratkaisulla. Tässä kappaleessa

esittellään uusia materiaaleja ja valmistusprosesseja jotka potentiaalisesti pystyvät korvaamaan puuvillan.

Reaktiivivärejä on pyritty kehittämään ympäristöystävällisempään suuntaan. Khatri esittelee reaktiivivärjäyksen menetelmien kehitystä jätevesien minimoimiseksi. Värjästekniikkaa on pyritty kehittämään vähemmän vettä kuluttavaksi, jotta kokonaisjätevesien määrä vähenisi. Pienempi vedenkulutus vähentää myös energian kulutusta, koska veden lämmittämiseen tarvitaan vähemmän energiaa. (Khatri *et al.* 2015)

Puuvillan tuotannon ekologisuutta on viime vuosina tutkittu ja pyritty kehittämään. Horne listaa kehitettyjä kohteita: nopeat valkaisut kuluttavat vähemmän energiaa, jatkuvassa valkaisussa energian kulutus on myös vähäisempää. Otsonin käyttö kemikaalien pelkistämisessä jätevedestä jo tuotannossa lisää ekologisuutta. (Horne 2012)

Hamppukuidulle on kehitetty prosessi, joka muuttaa hampun puuvillamaiseksi. Tällä prosessilla hamppukuitujen lingiinipitoisuus lasketaan 8-10 %:tä aina 0,2 %:n. Lingiin vähentyessä hamppukuiduista tulee puuvillamaisia ja pehmeitä. Kiinassa tämänkaltaista hamppukuitua tuotetaan jo teollisella tasolla 50 000 tonnia. Prosessissa valmistettua hamppukuitua käytetään pääasiassa hamppu/puuvilla-sekoitteissa. (Kozlowski 2. 2012)

Viskoosikuidun GWP-arvo on suurempi kuin puuvillan. Kehitteillä olevat viskoosintuotantoprosessit pyrkivät käyttämään olemassa olevia kangasmateriaaleja ja tekemään niistä viskoosia, joka on mahdollista muuttaa takaisin raaka-aineeksi ja käyttää uudelleen useita kertoja. Viskoosin raaka-ainevaihtoehtoja pyritään laajentamaan ja haitallisen rikkihiilen käyttö pyritään vähentämään sen saastuttavista ominaisuuksista johtuen. Näillä prosesseilla pyritään korvaamaan puuvilla/viskoosilla, jolla on hyvin samankaltaiset ominaisuudet kuin puuvillalla. (The Infinted Fiber Company 2017, Setälä & Tammelin 2017, Spinova 2017)

Korvaavia materiaaleja puuvillalle on kehitteillä runsaasti. Suomalainen The Infinted Fiber Company on kehittänyt viskoosin valmistukseen prosessin, joka käyttää raaka-aineena paperiteollisuuden jätteitä, kierrätettyä tekstiilijätettä ja sellua. Tämä prosessi on mahdollista toteuttaa toimivan sellutehtaan yhteyteen. The Infinted Fiber Company muuttaa raaka-aineet selluloosakarbamaattiliuokseksi, joka pystytään rikkihiilen sijaan liuottamaan urealla. The Infinted Fiber Company ilmoittaa olevansa lähellä viskoosin ominaisuuksia omissa kuiduissaan. Yritys alkoi valmistaa kuituja pilottilaitteistolla 2016 ja vuoteen 2019 mennessä sen tavoite on pystyä tarjoamaan kuituja laajalti eri tekstiilituotteisiin. (The Infinted Fiber Company 2017, VTT 2015, Sandell 2016)

Ioncell-F on Aaltoyliopistossa kehitetty viskoosikuitu. Se on ominaisuuksiltaan enemmän puuvillamainen ja sillä on parempi märkäkestävyys kuin viskoosilla. Ioncell-F raaka-aineeksi soveltuu tekstiilijäte, keräyspaperi, paperisellu, keräyspahvi ja liukosellu. Ioncell-F:n tuotannossa yleisesti viskoosin tuotannossa käytetty rikkihiili on korvattu ioniliuoksella. Tätä ioniliuosta pystytään käyttämään osittain toistuvasti suljettuna systeeminä.

Toistaiseksi ioniliuos on kuitenkin hyvin kallista ja Ioncell-F on vasta kehitysvaiheessa. (Aaltoyliopisto 2017, Ioncell 2017, Yle 2016)

Spinnova LTD valmistaa puukuitua suoraan langaksi. Spinnova LTD:n valmistama puukuitu ei vaadi sellun kemiallista jatkokäsittelyä ennen langan muodostusta. Puuvillaan verrattuna Spinnovan LTD:n prosessi käyttää 99% vähemmän vettä ja 80 % vähemmän energiaa. Spinnova LTD pyrkii saamaan kuidun teolliseen tuotantoon viimeistään vuonna 2018. (Fabric link 2017, Spinnova 2017)

Evrnu on kehittänyt kuidun, jonka valmistuksessa käytetään raaka-aineena puuvillajätettä. Prosessissa puuvillakankaasta poistetaan värit ja muut ylimääräiset aineet. Tämän jälkeen puuvilla muutetaan nestemäiseen muotoon ja siitä valmistetaan ekstruusiolla uusia kuituja. Kuidut käyttävät 98% vähemmän vettä puuvillaan verrattuna ja niillä on 90% pienempi hiilijalanjälki verrattuna polyesteriin. Muthun mukaan Evrnun regeneroiduista kuiduista on mahdollista valmistaa silkkiä hienompia ja puuvillaa vahvempia kuituja. (Evrnu 2017, Muthu 2016)

Martex fiber käyttää tekstiiliteollisuuden leikkuujätettä valmistaakseen uusia tuotteita ja kuituja. Kuidun valmistamiseksi tekstiiliteollisuuden leikkuujäte lajitellaan kuitumateriaalien ja värin mukaan. Tämän jälkeen puuvillakuitu prosessoidaan katkokuidun muotoon ja siitä on edelleen mahdollista kehrätä uutta lankaa takaisin tekstiilituotteiden valmistukseen. (Martex fiber 2017)

Kuluttajat ja tekstiiliteollisuus ovat huomanneet puuvillan ongelmat. Tähän ongelmaan on tarttunut useita yrityksiä ja erilaisia ratkaisuja kuluttajien vaatimuksiin ympäristöystävällisemmistä tekstiilimateriaaleista on kehitteillä. Nämä materiaalit ja prosessit voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaa:

- puuvillakankaan valmistusprosessin kehitys
- puuvillan kierrätys ja uudelleen käyttö
- uusien kuitujen valmistus puuvillamaiseksi regeneraatiolla ja muilla prosesseilla

Uusien materiaalien kehitys on useimmissa projekteissa hyvin alkuvaiheessa ja teollisen tuotannon saavuttaminen vie vielä aikaa.

## 6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa esittelen tutkimuksessa kuituja vertailemalla saatuja tuloksia ja johtopäätöksiä. Kappale sisältää myös työn kannalta oleellista kuitumateriaalien tulevaisuuden kehityksen pohtimista.

Puuvilla on edelleen erittäin laajassa käytössä ja sille ei ole suurella skaalalla vielä vaihtoehtoja. Suuri joukko ihmisiä köyhissä maissa on erittäin riippuvaisia puuvillan tuotannosta. Vaihtoehtojen käyttöönotossa tulisi ottaa huomioon myös eettiset vaikutukset.

Nykyinen tuotteiden ja teknologian kehittymisen tahti on erittäin nopeaa. Tämä on havaittavissa myös tekstiiliteollisuudessa. Tuotteen ja teknologian kehittyminen ideasta valmiiksi tapahtuu jo huomattavasti nopeammin kuin menneillä vuosikymmenillä.

Kuituominaisuuksiltaan sopivimmat kuidut kodintekstiileihin sijoittuvat kaikki selluloosakuituihin. Tämä voidaan nähdä johtuvan nimenomaan selluloosan ominaisuuksista, jotka puuvilla on asettanut normiksi nykyisessä tekstiiliteollisuudessa. Kuvassa 4. on kerätty kodintekstiilimateriaalien näkökulmasta oleellisimpia ominaisuuksia eri kuitumateriaaleista.

	Puuvilla	pellava	hamppu	viskoosi
Murtolujuus	0,6 Gpa	0,65 GPa	0,5 GPa	0,2-0,5 GPa
murtovenymä	3-6%	2,7-3,3%	1,4-4%	18-25 %
Sitkeys	2,08-6,3 g/den	5,4-6,5 g/den	3-7 g/den	2,6-3,1 g/den
kosteuden absorptio	8,5%	10-12%	12%	11%
Värjättävyys	erittäin hyvä	kohtalainen	huono	Hyvä
dimensioiden stabiilius	kohtalainen	hyvä	hyvä	erittäin hyvä
Tuntu	pehmeä	karhea	karhea	pehmeä
Valonkesto	Hyvä	hyvä	erittäin hyvä	Hyvä
pestävyys kuumassa	riski kutistumiseen olemassa	hyvä	hyvä	Hyvä
kuidun hinta	1,3 €/kg	2,13 €/kg	1,7-24 €/kg	5,01 €/kg
ekologisuus (GWP)	2 kg CO <sub>2</sub> /kg	1,1-1,8 CO <sub>2</sub> kg/kg	1,3-1,8 CO <sub>2</sub> kg/kg	3,8 kg CO <sub>2</sub> /kg

**Taulukko 6.** Taulukko tarkasteltujen kuitujen ominaisuuksista

Murtolujuuden kannalta, joka vaikuttaa kankaan kulutuksen kestävyys, pellava ja hamppu ovat parempia verrattuna viskoosiin ja puuvillaan. Tämä ohjaisi kestävyyttä vaativissa käyttökohteissa, kuten verhoiluissa, pellavan ja hampun käyttämiseen.

Kosteuden absorptio ja veden sitovuus tulee oleellisesti esiin erityisesti pyyhkeiden materiaaleissa. Puuvillalla on tarkastelluista kuiduista pienin kosteuden absorptio kyky. Erot eivät kuitenkaan ole yli viittä prosenttia, joten kosteuden absorptio kaikilla tutkituilla kuituilla on kuitenkin samaa luokkaa.

Värjättävyydessä puuvilla on omaa luokkaansa. Viskoosille sopivat myös useat värjäysmenetelmät ja prosessit. Pellavan ja hampun tapauksessa värjättävyys on selvästi heikompa puuvillaan verrattuna. Täysin hampusta ja pellavasta ei siis ole mahdollista valmistaa tuotteita yhtä laajalla värinkirjolla ja esteettisillä ominaisuuksilla kuin puuvillasta ja viskoosista.

Pellava on dimensionaalisia stabiilisuuksia verratessa ryhmän heikoin kuitu. Tässä ovat taustalla kuitujen rakenteet. Kaikilla kuiduilla kuitenkin on mahdollista jännitteiden relaxoituminen kuumissa pesuissa. Hyvä dimensioiden stabiilius ovat saavutettavissa kaikilla kuiduilla prosessoimalla ja viimeistelemällä ne hyvin ja vapauttamalla jännitteet.

Erittäin oleellinen osa ihoa vasten olevissa tekstiileissä on niiden tuntu. Puuvillalla on erittäin pehmeä ja hyvä tuntu. Viskoosi on myös pehmeä, mutta silkkimaisempi verrattuna puuvillaan. Pellava ja hamppu ovat jäykempiä kuituja ja niiden tuntu on selvästi erilainen kuin puuvillalla. Ihoa vasten olevien hamppu- ja pellavakankaiden kuitujen tulee olla erittäin hienoja, jotta puuvillan kaltainen tuntu saadaan aikaan.

Valonkesto väreillä ja kuiduilla kodintekstiileistä erityisesti sisutuskankailla ja verhoilla on olennainen ominaisuus. Värien valonkestoon vaikuttaa värin tyyppi ja kuinka hyvin värimolekyylit ovat kiinnittyneet kuituihin. Valituilla kuiduilla on kaikilla hyvä valonkesto ja hampulla erittäin hyvä. Viskoosi on ainut kuiduista, jossa ei tapahdu värin muutoksia pitkään UV-valolle altistuessa.

Tuotteen pestävyys korostuu pyyhkeillä ja vuodevaatteilla. Sisustuskankaat vaativat pesua huomattavan paljon harvemmin verrattuna pyyhkeisiin ja vuodevaatteisiin. Myös pesutapa on erilainen eri tuotteissa. Sisutustekstiileissä usein pyyhkiminen ja veden kanssa hierominen ovat yleisempiä puhdistustapoja kuin pyyhkeillä ja vuodevaatteilla. Pyyhkeet ja vuodevaatteet on kuitenkin totuttu pesemään korkeissa lämpötiloissa mikä asettaa haasteen kankaan jännitysten relaxoitumiselle ja kutistumiselle.

Puuvillan alhainen hinta on ollut pitkään sen käytön takana. Tutkimuksen muut kuidut ovat hinnaltaan vähintään kaksi kertaa kalliimpia. Kuluttajien käyttäytymisellä on tässä suuri vaikutus. Kuluttaja asettaa tuotteen ekologisuuden ja muut ominaisuudet tietyn hintaiseksi. Ekologisuuden arvostamisen kasvaessa kuluttajat ovat valmiita myös maksamaan siitä korkeampaa hintaa. Viskoosin hiilijalanjälki on kuiduista selvästi suurin 3,8 kg CO<sub>2</sub>/kg johtuen sen valmistuksessa käytettävästä rikkihiilestä. Pellavan ja hampun hiilijalanjäljet vastaavasti ovat puuvillaa pienemmät.

Kierrätetty puuvilla vastaa ominaisuuksiltaan parhaiten puuvillaa ja sen GWP-arvo on tavallista puuvillaa pienempi. Puuvillan kierrätys sellaisenaan kuitenkin vaatii jätteen tarkkaa prosessointia. Muilta ominaisuuksiltaan, paitsi hinnan ja hiilijalanjäljen näkökulmasta, viskoosi vaikuttaa potentiaalisimmalta kuidulta korvaamaan puuvillaa kodintekstiileissä. Pellava ja hamppu ovat joiltakin ominaisuuksiltaan jopa puuvillaa parempia, mutta niiden jäykkyys vaikeuttaa prosessointia sellaisenaan. Tämä koskee erityisesti hamppua. Pellavan ja hampun prosessointi puuvillamaiseksi on kuitenkin mahdollista, jolloin käyttö ihoa vasten olevissa tekstiileissä on mahdollista. Tämä kuitenkin lisää aina tuotannonkustannuksia ja karkeampien kuitujen pehmentäminen vaikuttaa mekaanisiin ominaisuuksiin.

Olemassa olevista kuiduista vuodevaatteisiin soveltuisi parhaiten pellava tai pellavasekoitteet. Puuvilla/pellavasekoitteiden tuntu pysyy pehmeänä kuin puuvillalla, mutta pellavasta tuleva viileä tuntu tekee vuodevaatteista vielä mukavammat. Värjättävyys ja pestävyys säilyvät kuitenkin hyvällä tasolla. Tuotteen hinta tosin nousee, mutta ekologisuutta on mahdollista parantaa pellavalla.

Sisustuskankaat vaativat kuiduilta kestävyyttä ja kulutusta UV-valoa vastaan. Samoin mukavuus ei vaikuta yhtä paljon kuidun valintaan kuin vuodevaatteissa. Hamppu ja pellava soveltuisivat näin ajateltuna parhaiten sisustuskankaisiin, mutta niiden värjättävyys ja hinta eivät täytä sisustuskankaiden vaatimuksia. Nykyisistä kuiduista puuvilla on hintansa ja ominaisuuksiensa puolesta sopivin sisustuskankaaksi.

Pyyhkeissä kuidulta vaaditaan erittäin hyvää vedensitomiskykyä. Puuvillalla on esitellyistä kuiduista heikoin vedensitomiskyky. Viskoosi oli mukavuudeltaan ja värjättävyydeltään selvä valinta pyyhemateriaaliksi, mutta sen alhainen märkälujuus tulee ottaa myös huomioon. Kuten vuodevaatteissa, pyyhkeissä erilaiset puuvilla/pellavasekoitteet mahdollistavat hiilijalanjäljen pienentämisen verrattuna täysin puuvillasta valmistettuun vastaavaan tuotteeseen. Näiden sekoitteiden hinta on myös alhaisempi kuin täysin pellavasta valmistetun tuotteen.

Puuvillaa korvaamaan on kehitteillä paljon viskoosimaisia regeneroituja kuituja. Tässä voidaan päätellä erilaisten regeneroitujen kuitujen olevan tulevaisuudessa yleisempiä puuvillan korvaajina. Viskoosi sellaisenaan sopii hyvin vuodevaatteisiin pehmeän tunnun ja hyvien kosteuden siirto-ominaisuuksien takia. Osalle kehitteillä olevista regeneroiduista kuiduista on saatu kehitettyä parempi märkälujuus kuin viskoosilla yleisesti. Tämä mahdollistaisi puhtaan regeneroidun kuidun käytön myös pyyhkeen materiaalina ilman, että sen kestävyys kärsisi.

Tulosten valossa kehitteillä olevat regeneroidut kuidut ovat todennäköisimmin tulevaisuuden puuvillan korvaaja. Uusien kuitujen myötä kodintekstiilimateriaalien skaala todennäköisesti laajenee ja puuvillan osuus materiaalina pienenee.

## **6.1 Kodintekstiilimateriaalit viiden vuoden kuluttua**

Viisi vuotta nykyisellä teknologian kehityksellä avaa erittäin paljon mahdollisuuksia kehitykselle. Usean työssä esiteltujen kehitteillä olevien kuitujen tavoite on olla ainakin pilotituotannossa viiden vuoden kuluessa.

Kuitumateriaalit kehittyvät nopeasti prototyypistä suurenkokoluokan tuotantoon. Olemassa olevia sekoitekuitumateriaaleja on mahdollista käyttää tuotannossa jo hyvinkin nopeasti pienentämään hiilijalanjälkeä. Tällöin puuvillan ympäristövaikutuksia pystytään pienentämään ja tarjoamaan kuluttajille ekologisempia tuotteita. Sekoitelankojen valmistukseen oleva tekniikka on jo olemassa ja sen käyttö todennäköisesti lisääntyy.



Lähivuosina ekologiset viskoosikuidut ovat vielä teollisen tuotannon alkupuolella ja selvästi kalliimpia puuvillaan verrattuna. Kodintekstiilikankaiden ekologisiin ongelmiin on mahdollista vaikuttaa käyttämällä kierrätettyä puuvillaa. Tällöin ominaisuudet ja värjäätävyydet ovat lähes identtisiä kuin elinkaarensa alussa olevalla puuvillalla. Muita nopeasti tuotantoon ja käyttöön saatavia vaihtoehtoja on erilaiset sekoitteet. Sekoittamalla lankoihin puuvillan lisäksi regeneroitujakuituja ja luonnonkuituja on mahdollista keventää puuvillan aiheuttamaa kuormitusta ympäristölle.

## **6.2 Kodintekstiilimateriaalit kymmenen vuoden kuluttua**

Kymmenen vuoden ennustaminen on melko hankalaa nykyisellä teknologian kehitysnopeudella. Uusia kuituja, joita ei vielä ole kehitetty, on varmasti kehitteillä ja pilottivaiheissa. Myös puuvillan prosessit ja kasvatusta ovat suurella todennäköisyydellä kehittyneet ekologisemmiksi ja tehokkaammiksi. Erityisesti puuvillan viljely kehittyvissä maissa ottaa harppauksia näiden maiden vaurastumisen myötä.

Useat työssä esitellyt uudet tekstiilimateriaalit pyrkivät teollisen tuotannon tasolle vähintään kymmenen vuoden kuluessa. Uudet ekologiset tekniikat ovat aluksi kalliimpia ja saavuttavat ensimmäisenä vaateteollisuuden ja kalliimmat tuotteet, joissa aineetonta arvoa on helpompi myydä. Kodintekstiileissä tämä tarkoittaa kalliimpien hintaluokkien tuotteita. Pisimmällä kehitteillä olevat kuidut ovat todennäköisesti jo saavuttaneet jansijaa kuitumarkkinoilla ja puuvillan osuus on alkanut hiljalleen pienentyä regeneroitujen kuitujen vallatessa alaa kodintekstiileissä.

## 7 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli tutkia kuitumateriaaleja, jotka soveltuisivat vaihtoehtoksi puuvillalle kodintekstiileissä. Näistä tiedoista oli tarkoitus luoda arvioita kodintekstiilimateriaalien tulevaisuuden näkymistä viiden ja kymmenen vuoden päähän. Työn teoria osuudessa esitellään kodintekstiilikuitujen kannalta oleellisimpia ominaisuuksia. Oleellisiksi teorioiksi valikoitui tekstiilien mukavuus, vedensitomiskyky, kulutuksen kesto sekä värjättyvyys ja painettavuus. Näiden teorioiden kautta tutkittiin mitä vaatimuksia kodintekstiilit asettavat kuitumateriaaleille.

Puuvillan ongelmaksi tutkimuksessa havaittiin sen ekologiset ongelmat ja kuluttajien vaatimukset ekologisemmille tuotteille. Nykyiset vaihtoehtoiset kuidut ovat kuitenkin hinnaltaan selvästi kalliimpia kuin puuvilla. Tällä hetkellä vastauksena kuluttajien ekologisten tuotteiden vaatimukseen on kierrätyspuuvillan ja erilaisten sekoitteiden käyttö puuvillan hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Kehitteillä on paljon ratkaisuja puuvillan ekologisiin ongelmiin. Ne jakautuvat puuvillan tuotannon ekologian parantamiseen ja uusiin materiaaleihin. Puuvillan kasvatusta ja prosessointi kuluttavat erittäin paljon vettä. Prosessoinnin ekologisuutta parantamaan on kehitteillä uusia värejä ja värjäysprosesseja, jotka vaativat vähemmän vettä perinteisiin prosesseihin verrattuna. Kehitteillä olevat regeneroidut kuidut kuitenkin tarjoavat paljon mahdollisuuksia. Uusien kuitujen joukosta löytyy kestävämpiä ja ekologisempia kuituja kuin puuvilla. Nämä kuidut ovat kuitenkin vasta kehitysvaiheissa. Viiden vuoden kuluessa nämä uudemmat kuidut voivat esiintyä jo korkeamman hintaluokan tuotteissa. Vähitellen ne saavuttavat myös halvempia tuoteryhmiä ja niiden käyttö yleistyy myös puuvillakodintekstiilien korvaajina.

Työ onnistui tavoitteissaan tutkimaan mitkä ovat oleelliset ominaisuudet puuvillalle kodintekstiileissä ja kartoittamaan olemassa olevia ja tulevaisuuden materiaaleja puuvillan korvikkeeksi. Työn toinen tavoite oli luoda arvioita, miten kodintekstiilien materiaalikenttä muuttuu viiden ja kymmenen vuoden kuluessa. Näiden hypoteesien tekeminen on melko spekulatiivista. Lähteiden antamien ominaisuuksien arvojen vaihtelu oli melko suurta mikä vaikuttaa hieman niiden luotettavuuteen.

Lähteinä työssäni pyrin käyttämään puolueettomia ja luotettavia lähteitä. Osa lähteistä on kaupallisia tai tuotteen valmistajan itse tuottamia. Näissä yhteyksissä tutkimusta ei ole vielä tehty kyseisistä aiheista muiden kuin valmistavien tahojen toimesta. Hintatiedoissa ajantasaisen hinnan määrittely osoittautui muiden kuitujen kuin puuvillanosalta hankalammaksi, koska niistä ei käydä kauppaa pörssissä. Näin ollen hintatiedot eivät ole täysin verrattavissa.

Tutkimusta voisi jatkaa kattamaan myös muita kuitumateriaaleja kuin puuvillaa. Elinkaarianalyysiä on mahdollista tarkentaa lähes loputtomiin. Pidentämällä aikajanaa tulevaisuuteen myös kokeellisempi ja hypoteettisempia prosesseja ja teknologioita olisi mahdollista tutkia. Antamalla tietyille ominaisuuksille painoarvoja olisi mahdollista tehdä tarkempaa analyysiä materiaalien soveltuvuuksista.

Täysin tätä työtä vastaavaa tutkimusta en löytänyt. Tekstiilimateriaalien ominaisuuksia on kuitenkin tutkittu erittäin paljon, myös analyysejä tuotteiden soveltuvuudesta tiettyihin teollisuudenaloihin ja tuotteisiin löytyy runsaasti. Puhtaasti kodintekstiilien kuituominaisuuksiin keskittyvää tutkimusta en löytänyt. Soveltuvuuksista kodintekstiileiden käyttökohteisiin oli vain joitakin suoria viitteitä.

## LÄHTEET

Aaltoyliopisto, Ioncell-F, verkkosivu saatavissa (viitattu 3.10.2017):

[http://bio2.aalto.fi/fi/research\\_groups/biorefineries/ioncell/](http://bio2.aalto.fi/fi/research_groups/biorefineries/ioncell/)

Alibaba, Hemp fiber. verkkosivu saatavissa (viitattu 1.10.2017) <https://www.alibaba.com/showroom/hemp-fiber.html>

Anderson, K. & Valenzuela, E. (2007) The World Trade Organisation's Doha Cotton Initiative: A Tale of Two Issues. *The World Economy* vol. 30, iss. 8 s. 1281–1304

Annis, P.A. (2012). *Understanding and Improving the Durability of Textiles*, Woodhead Publishing, Cambridge. s. 3-121

Ashby, M. F. (2013). *Materials and the environment: eco-informed material choice*, Oxford: Butterworth-Heinemann, s. 49-92

Blackburn, R. S. (2009). *Sustainable Textiles - Life Cycle and Environmental Impact*. Woodhead Publishing. s. 34-150

The Economist (2011) Bloom times. verkkosivu saatavissa (viitattu 4.9.2017) <http://www.economist.com/node/17965505>

Bralla, J. G. (2007). *Handbook of Manufacturing Processes - How Products, Components and Materials are Made*. Industrial Press. s. 385-391

Brosdahl, D. J. C. & Carpenter, J. M. (2010). Consumer Knowledge of the Environmental Impacts of Textile and Apparel Production, Concern for the Environment, and Environmentally Friendly Consumption Behavior. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. Vol 6, No 4. verkkosivu saatavissa: <http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/jtatm/article/download/854/730>

Bunsell, A. R. (2009). *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibers*. Woodhead Publishing. s. 10-83

Chapman, C. B. (1974) *Fibers*. Butterworth, London. s. 3-17

Chapman, R. A. (2010). *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*. Woodhead Publishing. s. 138-140

Clark, M. (2011). *Handbook of Textile and Industrial Dyeing, Volume 1 - Principles, Processes and Types of Dyes*. Woodhead Publishing. s. 3-625

Clark, M. (2011). *Handbook of Textile and Industrial Dyeing, Volume 2 - Principles, Processes and Types of Dyes*. Woodhead Publishing. s. 3-159

Cook, J. G. (1984). Handbook of textile fibres. 1, Natural fibres. Durham: Merrow. s. 36-58

Cook, J. G. (1984). Handbook of textile fibres. 2, Man-made fibres. Durham : Merrow. s. 9-78

ECHA. ANNEX XVII TO REACH – Conditions of restriction, Entry 43, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.9.2017) <https://echa.europa.eu/documents/10162/6f65910f-f80b-41c3-9c15-026731e4c03d>

Emerging textiles: Flax import prices and Linen yarn and fabric exports in China, verkkosivu saatavissa (viitattu 30.9.2017) <http://www.emergingtextiles.com/?q=art&s=160314-linen-flax-market-price&r=free&i=samplearticle>

Emerging Textiles: Viscose Staple Fiber and Filament Prices in China, verkkosivu saatavissa (viitattu 30.9.2017) <http://www.emergingtextiles.com/?q=art&s=160414-viscose-rayon-market-price&r=free&i=samplearticle>

Evrnu, verkkosivu saatavissa (viitattu 3.10.2017): <https://www.evrnu.com/technology/>

Fabric link. Top 10 Fabric Innovations 2016. verkkosivu saatavissa (viitattu 1.10.2017): <http://www.fabriclink.com/consumer/TopTen-2016.cfm>

Finlayson Oy: Tarinamme, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.6.2017): <http://info.finlayson.fi/tarinamme/>

Finlayson Oy: Tavoitteet, verkkosivu. Saatavissa (Viitattu 1.10.2017) [https://www.finlayson.fi/editor\\_files/Vastuullisuuden%20tavoiteohjelma%202020.pdf](https://www.finlayson.fi/editor_files/Vastuullisuuden%20tavoiteohjelma%202020.pdf)

Finlayson Oy: Tuotteet, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.9.2017): <https://www.finlayson.fi/tuotteet/>

Finlayson Oy: Vastuullisuus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.6.2017): <http://info.finlayson.fi/vastuullisuus/>

Fraj-Andrés, E. Martínez-Salinas E. (2007). Impact of Environmental Knowledge on Ecological Consumer Behaviour: An Empirical Analysis, Journal of International Consumer Marketing, vol. 19, no. 3, s. 73-102. saatavissa (viitattu 23.9.2017): <http://web.a.ebscohost.com.lib-proxy.tut.fi/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=59d4a53c-79a3-4334-b95f-956e90604a04%40sessionmgr4009>

Franck, R.R (2005) Bast and Other Plant Fibres. Woodhead Publishing. s. 1-17

Gooch, J. W. (2007). Encyclopedic Dictionary of Polymers. Springer New York. s. 961

Gordon, S. & Hsieh, Y.L. (2007) Cotton: Science and technology. Woodhead Publishing s. 17-92

Horne, L. (2012). New Product Development in Textiles - Innovation and Production. Woodhead Publishing. s. 19-70

Human rights watch: We Can't Refuse to Pick Cotton, verkkosivu saatavissa (viitattu 18.9.2017): <https://www.hrw.org/report/2017/06/27/we-cant-refuse-pick-cotton/forced-and-child-labor-linked-world-bank-group>

The Infinited Fiber Company, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.10.2017): <http://infinitedfiber.com/infinited-fiber/>

The Infinited Fiber Company: Strategy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu .2017): <http://infinitedfiber.com/strategy-2/>

Ioncell, verkkosivu saatavissa (viitattu 3.10.2017) <http://ioncell.fi/>

Iyer S. S. (2009) Managing for value. New Age International. s. 68

Kaswell, Ernest R. (1953). Textile fibers, yarns, and fabrics : a comparative survey of their behavior with special reference to wool. New York : Reinhold. s. 101-105

Khatri, A., Peerzada, M., Mohsin, M. & White, M. (2015) A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, vol. 87, no. 1, s. 50-57

Kozlowski, R. M. (2012) Handbook of Natural Fibres, Volume 1 - Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation, Woodhead Publishing, Cambridge.

Kozlowski, R. M. (2012). Handbook of Natural Fibres, Volume 2 - Processing and Applications. Woodhead Publishing. s. 315-323

Labarthe J. (1964). Textiles: Origins to usage. The MacMillan company: New York. s. 373-468

Lyle, D. S. (1976) Modern textiles. Wiley, New York. s. 329-343

Morton, W. E., Hearle, J. W. S. (2008). Physical properties of textile fibers (4th ed.). Cambridge: Woodhead. s. 229-251

Martex fiber, verkkosivu saatavissa (viitattu 4.10.2017): <http://www.martexfiber.com/about/360-recycling-process/>

Munden, D. L. (1960) Dimensional stability of plain-knit fabrics. Journal of the Textile Institute Proceedings, vol .51 no. 4. s. 200-209

- Muthu, S. S. (2014). Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing: Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods. Springer Singapore, Singapore. s. 3-31
- Muthu, S. S. (2015). Handbook of Life Cycle Assessment (LCA) of Textiles and Clothing. Elsevier. s. 3-120
- Muthu, S. S. (2016). Textiles and Clothing Sustainability: Recycled and Upcycled Textiles and Fashion. Springer Singapore, Singapore. s. 55-69
- Nelson, Elton G. and Bird, Luther S. (2014). Cotton. AccessScience. McGraw-Hill Education. Saatavissa (viitattu 6.9.2017): <https://doi-org.libproxy.tut.fi/10.1036/1097-8542.164400>
- Nielson, K. J. (2007). Interior textiles: Fabrics, applications, & historical styles. Hoboken, NJ: Wiley. s. 64
- Rowe, T. (2009). Interior Textiles Design and Developments. Cambridge: Woodhead. s. 21-109
- Sandell, M. (2016) Metsästä saadaan vaatteita suomalaistekniikoilla – vanhat farkutkin kelpaavat kiertoon. Yle. verkkosivu saatavissa (viitattu 3.10.2017): <https://yle.fi/uutiset/3-9320919>
- Saville, B. P. (1999). Physical Testing of Textiles. Woodhead Publishing. s. 26-39
- Setälä, H. Tammelin, T. (2017) Tulevaisuuden uudet selluloosatuotteet ja niiden sovellukset. verkkosivu saatavissa (viitattu .2017): <http://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Tulevaisuuden-uudet-selluloosatuotteet-ja-niiden-sovellukset.aspx>
- Shahzad, A. (2012) Hemp fiber and its composites – a review, Journal of Composite Materials, vol. 46, no. 8, s. 973-986.
- Sinclair, R. (2014) Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology, Elsevier Science. s. 3-478
- Singh, J. P. & Verma S. (2016) Woven Terry Fabrics – Manufacturing and Quality Management. Woodhead. s. 1-265
- Slater, K. (2003) Environmental impact of textiles: production, processes and protection. Woodhead Publishing, Cambridge. s. 17-94
- Song, G. (2011) Improving comfort in clothing. Oxford: Woodhead. s. 3-110
- Spinnova, verkkosivu saatavissa (viitattu 1.10.2017) <http://www.spinnova.fi/>

Stylios, G. (1991) Textile objective measurement and automation in garment manufacture, Horwood, New York, NY. s. 69-77

Tekstiilihuoltoliitto ry, verkkosivu saatavissa (viitattu 2.11.2017) <http://tekstiili-huolto.web31.neutech.fi/doc/TODENNKINEN-IK-NYKYARVON-MRYTYMISPE-RUSTEET-2017-13062017.pdf>

Thibodeaux, D.P., French, A.D., Triplett, B.A., McAlister, D.D., Hunter, L., Wakelyn, P.J., Edwards, J.V., Bertoniere, N.R., Gamble, G.R., Goynes, J., Wilton R, Rousselle, M. (2006). Cotton Fiber Chemistry and Technology, 1st edn. CRC Press, Baton Rouge. Saatavissa (viitattu 19.6.2017):  
<https://doi-org.libproxy.tut.fi/10.1201/9781420045888.fmatt>

Trading economics, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.9.2017) <https://tradingeconomics.com/commodity/cotton>

VTT. (2015) Ainutlaatuinen tuotantokoe käynnissä: Poistopuuvillasta uutta kuitua muotiteollisuudelle. verkkosivu saatavissa (viitattu 2017): <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/ainutlaatuinen-tuotantokoe-k%C3%A4ynniss%C3%A4-poistopuuvillasta-uutta-kuitua-muotiteollisuudelle>

Wulfhorst, B., Gries, T. & Veit, D. (2006). Textile technology. Hanser Publishers, Munich. s. 9-311

Zumdahl, S. S. & DeCoste, D. J. 2013. Chemical principles. Seventh edition International edition. Belmont, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning. s. 33-784